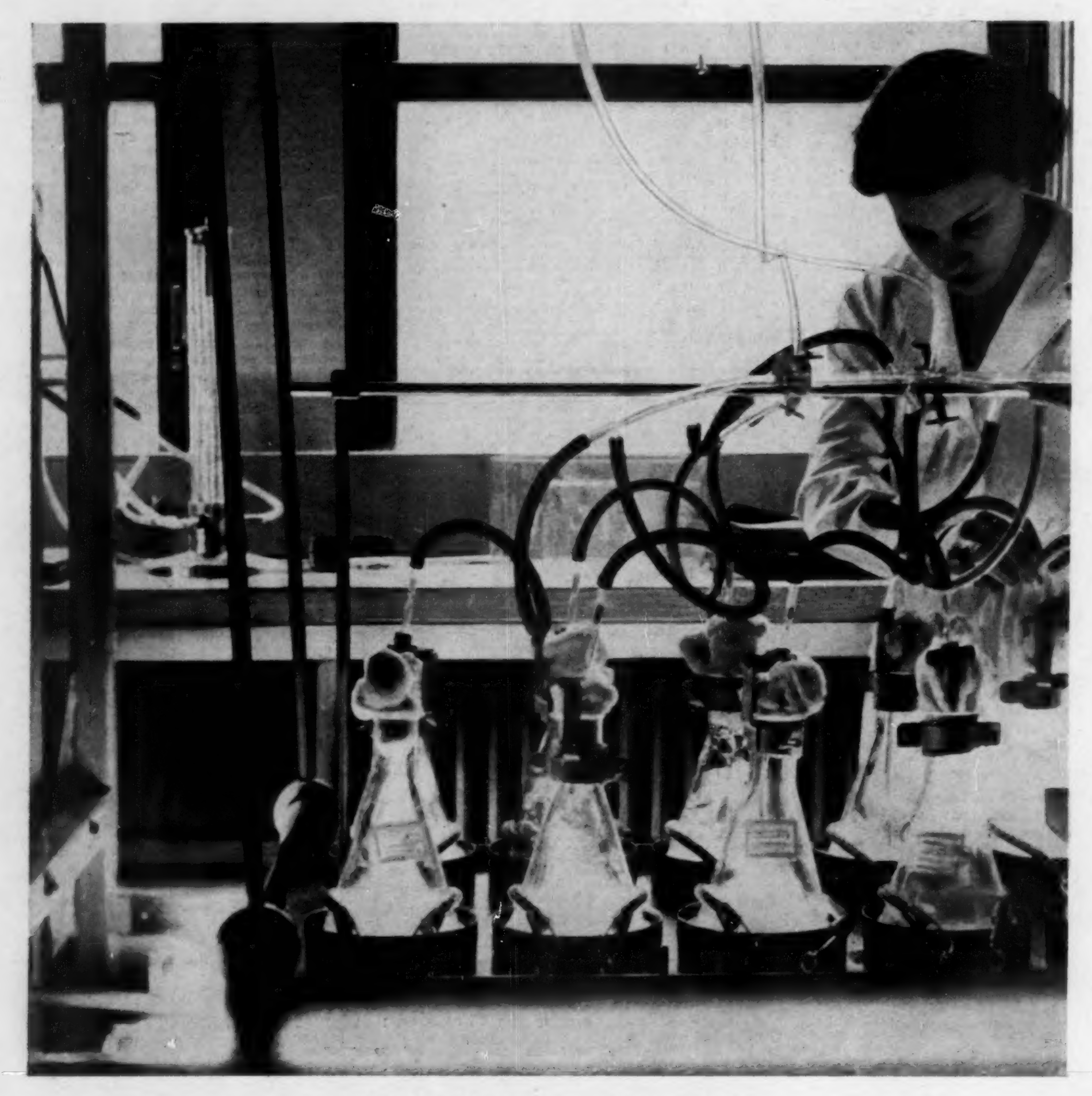
LA NATURE

REVUE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS



LES CULTURES D'ALGUES

Dispositif expérimental pour la culture accélérée des Chlorelles
au Laboratoire de Photosynthèse du C.N.R.S., à Gif-sur-Yvette (*Photo* A. MOYSE).

N° 3238 – Février 1955 Revue mensuelle Le Numéro : 200 francs

Actualités et informations

Un radar pour automobiles

Beaucoup d'accidents nocturnes de la circulation sont dus au choc d'une auto contre une autre voiture à l'arrêt et mal signalisée. *La Technique moderne* annonce qu'un ingénieur américain vient d'installer sur un véhicule d'essai un appareil électronique qui projette des ondes en avant, dans la direction de la marche, et en enregistre l'écho sur un petit écran analogue à ceux de la télévision. Quand la route est libre, une ligne lumineuse horizontale se dessine sur l'écran ; si un obstacle se présente, la ligne commence à onduler, les vagues étant d'autant plus hautes que le choc est plus imminent. On a même prévu que si les oscillations dépassent une certaine amplitude sans que le conducteur réagisse, les freins seront actionnés automatiquement.

* * *

Une Exposition textile internationale s'ouvrira à Bruxelles en juillet 1955. Quelque 13 850 m² sont déjà loués par les exposants de matériel pour l'industrie textile, avec la répartition suivante : Allemagne, 4 370 m² ; France, 2 200 m² ; Belgique, 2 100 m² ; Suisse, 1 730 m² ; Grande-Bretagne, 1 360 m² ; Italie, 1 050 m² ; les industries d'autres pays ont retenu des surfaces moins importantes. L'Agence européenne de productivité, dont le siège est à Paris, tiendra à cette occasion le premier congrès consacré à la productivité dans l'industrie textile.

* * *

Sur la plupart des réseaux européens, le trafic voyageurs a considérablement augmenté depuis l'avant-guerre. Le nombre de voyageurs transportés est ainsi passé de 59 à 135 millions en Autriche, de 50 à 107 au Danemark, de 146 à 390 en Italie, de 79 à 156 en Hollande, de 44 à 113 en Suède, de 118 à 215 en Suisse, de 14 à 62 millions en Turquie.

* * *

La première usine-pilote destinée à traiter le minerai de cuivre d'Akjoujt (A.O.F.) a été inaugurée. Le gisement, le plus important en territoires français, serait de 30 à 35 000 000 t, d'une teneur d'environ 1,5 pour 100. Le minerai se présente sous deux formes, oxydé et sulfuré. C'est le minerai sulfuré qui est actuellement traité.

SOMMAIRE

S'élevant à 187 m, la cheminée de l'atelier de production de minerai de fer de l'International Nickel Cy of Canada Limited va prendre le titre de « plus haute cheminée du Commonwealth britannique », détenu jusqu'ici par deux cheminées de 150 m de l'usine de fusion de l'Inco à Copper Cliff. La grande hauteur assure une meilleure diffusion des gaz dans l'atmosphère. La cheminée est en béton armé revêtu dans sa totalité de briques spéciales.

* * *

Selon les renseignements recueillis à l'Union internationale pour la protection de la nature, l'épidémie de myxomatose continue à s'étendre vers l'est ; des sujets malades ont été trouvés en automne à Augsbourg (Bavière).

* * *

D'après une enquête faite auprès de vingt et une firmes aéronautiques américaines, la quantité de titane employée en aviation aura été, en 1954, trois cents fois plus élevée qu'en 1952.

Chargement automatique du charbon

La revue *Coal Age* a décrit un équipement réalisé par la Philadelphia and Reading Coal and Iron Cy. Le conducteur d'un camion peut demander la charge d'un poids déterminé de l'une des six sortes de charbon remplissant six trémies. Un opérateur compose le chiffre demandé sur un cadran et appuie sur un bouton. Une manche volante, abaissée dans le camion, y déverse le charbon à raison de 5 t/mn. Une commande à bouton dirige la manche, en sorte que la charge soit régulièrement répartie sur le plateau. Lorsque l'opération inscrite sur le cadran est terminée, le circuit est coupé, l'alimentation s'arrête et la manche est remontée.

* * *

Un nouveau produit de protection contre la corrosion du fer et de l'acier est mis en vente aux États-Unis sous le nom de « Galvicon ». Ce produit, applicable au pinceau ou au pistolet, se combine avec le métal de base et réalise en quelque sorte une galvanisation, supérieure à une galvanisation à chaud ou par autres procédés, en laissant un revêtement contenant 96 pour 100 en poids de zinc pur ; il se différencie des autres peintures métalliques contenant du zinc par sa combinaison avec le métal de base et l'établissement d'une continuité électrique offrant une véritable protection cathodique. On indique que des échantillons d'acier traités avec ce produit ont résisté à la corrosion après deux années d'immersion dans de l'eau salée.

* * *

Des gisements prometteurs de minerais de fer et de manganèse ont été prospectés en Afrique du Sud ; on estime les réserves à 43 000 000 de t environ pour le fer, à 23 000 000 de t pour le manganèse.

* * *

La Commission vaudoise pour la protection de la nature (Suisse) vient de déclarer la mise en réserve du pittoresque étang de Sepey. Creusé naguère pour l'exploitation de l'argile, l'étang est devenu maintenant un site des plus intéressants pour l'étude de la flore lacustre et des nombreuses espèces d'insectes, batraciens, reptiles et oiseaux qu'abrite ce milieu né de l'intervention humaine.

LA NATURE

Revue mensuelle

DUNOD, Éditeur

92, rue Bonaparte, PARIS-6e

C. C. P. Paris 75-45 — Tél. DAN. 99-15

ABONNEMENTS 1955

France et Union fse : **un an : 2 000 francs six mois : 1 000 francs**

Etranger (sauf Belgique et Luxembourg) : **un an : 2 500 francs six mois : 1 250 francs**

Belgique et Luxembourg : **un an : 325 f belges six mois : 163 f belges**

Changement d'adresse : 30 F en timbres-poste français ou l'équivalent en monnaie étrangère

N° 3238 Février 1955

LA NATURE

LES CULTURES D'ALGUES

La culture accélérée des Chlorelles

La culture des algues, plus précisément la culture des Chlorelles et de quelques espèces voisines, a fait naître de grands espoirs il y a peu de temps. Appoints alimentaires riches, sources d'intéressantes matières premières industrielles, meilleure utilisation de l'énergie solaire, exploitation de cette énergie dans les pays désertiques, telles sont les perspectives futures qui ont été entrevues pour la satisfaction des multiples besoins de l'homme. Quelles sont ces algues, comment les cultive-t-on, comment accélère-t-on leur croissance, quels sont les résultats des essais obtenus dans les premières usines-pilotes, la valeur des récoltes, quelles recherches faut-il entreprendre pour les améliorer, quelles possibilités ouvrent-elles? Telles sont les questions auxquelles s'efforce de répondre ici M. Alexis Moyse, directeur du Laboratoire de Photosynthèse du C.N.R.S., qui a instauré à Gif les premières recherches françaises sur ce problème.

★

Les algues d'eau douce et l'expérimentation physiologique. — Si le terme d'algues évoque, pour la plupart des lecteurs, les tapis de *Fucus* bruns, les lames vertes de la Laitue de mer, les *Delesseria* semblables à des feuilles rouges, que l'on rencontre sur nos côtes, les algues cultivées et étudiées dans les laboratoires de physiologie sont le plus souvent des unicellulaires microscopiques, parfois rassemblées en colonies, et que l'on trouve originellement dans les eaux douces, sur les pierres ou les écorces humides.

Les Chlorelles sont parmi les plus communes et les plus fréquemment cultivées. Ce sont de petites boules sphériques ou ovoïdes de quelques millièmes de millimètre de diamètre. Deux mille d'entre elles, alignées sur une droite, occuperaient environ une longueur d'un centimètre; 300 milliards de Chlorelles ne livrent qu'un gramme de substance sèche.

Une membrane en délimite le contour. A l'intérieur, un gros chloroplaste vert en forme de coupe occupe la majeure partie de la cavité; un petit noyau, un peu de cytoplasme complètent la cellule (fig. 1). La coloration de leur chloroplaste est due à la chlorophylle *a* et à la chlorophylle *b*. Les Chlorelles renferment de plus, comme pigments, des carotènes, surtout du β-carotène, et des xanthophylles, principalement de la lutéine.

Certaines Chlorelles sont marines, d'autres vivent dans les eaux douces, quelques-unes habitent les cavités de divers animaux aquatiques, grands Protozoaires, Hydres ou Planaires, et vivent avec eux en symbiose. Les Chlorelles n'ont pas de motilité propre. Libres, elles suivent passivement les mouvements des eaux, avec le plancton auquel elles appartiennent. Le genre a été décrit par Beijerinck en 1890. Une douzaine d'espèces de Chlorelles d'eau douce ont été utilisées dans les recherches de physiologie végétale. Une des plus communes,

Fig. 1. — *L'algue unicellulaire* Chlorella pyrenoidosa *et sa multiplication.* Grossissement : × 1 500.
(D'après *Algal Culture*, Carnegie Institution, Washington, 1953).

Chlorella vulgaris, a été introduite par O. Warburg en 1919, dans les études sur la photosynthèse. Depuis, les Chlorelles sont devenues des sujets d'expériences innombrables. Leurs échanges gazeux photosynthétiques et respiratoires, leur constitution chimique, sont bien connus. L'énergétique et les étapes de la photosynthèse ont été étudiées avec elles, qu'il s'agisse de *Ch. vulgaris* en Europe, de *Ch. pyrenoidosa* aux U. S. A., ou de *Ch. ellipsoidea* au Japon (1).

Leur utilisation fréquente dans les recherches tient à plusieurs raisons. Elles sont faciles à cultiver aseptiquement, dans des conditions bien définies, et elles se reproduisent rapidement. Leur multiplication est asexuée, leur sélection est donc facile. Il est aisé d'obtenir avec elles des *clones*, populations génétiquement pures, homogènes, issues d'une souche unique. Chaque cellule, après une journée d'activité photosynthétique, atteint sa taille maximale : 8 μ de diamètre environ. Elle se divise alors en 4 ou 8 cellules filles. Lorsqu'elle se divise en 4, par exemple, il en naît des cellules filles de 5 μ de diamètre, qui trouveront leur taille optimale après une journée. Elles sont alors prêtes à se diviser de nouveau. Dans de bonnes conditions, chaque culture peut ainsi voir son poids multiplié par 4 en 24 h.

Les Chlorelles, en raison de la facilité de leur culture, de leur vitesse de multiplication et de croissance, ont paru constituer un matériel possible de culture à rendement élevé. D'autres algues microscopiques, des *Scenedesmus* (Chlorophycées comme les Chlorelles), des Diatomées et tout récemment même des algues filamenteuses beaucoup plus grandes, du genre *Ulothrix* (fig. 11) bien que de croissance moins rapide, ont également retenu l'attention.

Origines de la culture accélérée des Chlorelles. — D'autres organismes microscopiques sont cultivés industriellement depuis longtemps : des levures, des moisissures, comme sources de substances telles que l'acide citrique, la vitamine B_2, sans oublier l'alcool et la glycérine, des *Penicillium* et des bactéries, sources d'antibiotiques.

1. Voir : Les synthèses dans la vie des plantes, par A. Moyse, *La Nature*, n° 3222, octobre 1953, p. 298 ; n° 3223, novembre 1953, p. 334.

Pendant la dernière guerre mondiale, aux U. S. A., les propriétés antibiotiques d'acides gras synthétisés par les Chlorelles attirèrent l'attention sur ces organismes. Si l'application fut abandonnée dans ce domaine, les recherches faites alors à l'Institut Carnegie, à Washington, firent beaucoup mieux connaître les exigences des cultures d'algues et la composition chimique de ces végétaux (1).

La richesse en protéines des Chlorelles est frappante. Dans les conditions courantes, elles renferment plus de 50 pour 100 de protéines, 35 pour 100 de glucides, 5 pour 100 de lipides, la plupart des vitamines connues, des matières minérales et seulement quelques pour 100 de cellulose. Cette composition correspond à celle d'un aliment complet et la haute teneur en protéines lui assurerait une valeur toute particulière pour les populations sous-alimentées ou ne disposant abondamment que d'une nourriture essentiellement glucidique, du type du riz (la farine de riz ne renferme que 6 pour 100 de protéines). Dans des conditions de culture différentes, les algues accumulent d'autres produits; ainsi lorsqu'elles sont carencées en azote elles forment de très grandes quantités de lipides. Cette souplesse de leur métabolisme est également un facteur intéressant si l'on désire utiliser les substances synthétisées.

L'Institution Carnegie stimula les recherches dans cette direction. Les premiers essais furent réalisés par H. A. Spoehr et H. W. Milner et, en 1951, la première usine-pilote fut construite à Cambridge (Massachusetts).

Les Japonais s'y intéressèrent rapidement et construisirent également une usine-pilote. Dans plusieurs pays, Angleterre, Allemagne, Israël, Pays-Bas, de nombreux chercheurs apportèrent une importante contribution à la connaissance des meilleures conditions de culture.

Les cultures d'Algues et l'utilisation de l'énergie solaire. — Comme toutes les plantes vertes, les Chlorelles élaborent leur propre substance grâce à l'énergie solaire. Leur photosynthèse peut être jusqu'à 100 fois plus intense que leur respiration. Cependant, ce pouvoir synthétique n'utilise généralement qu'une faible partie de la lumière reçue. Il en est de même pour les feuilles des plantes terrestres. Lorsque les feuilles reçoivent du soleil une quantité d'énergie égale à 100 calories, elles en réfléchissent 20, en laissent diffuser 10. Des 70 calories absorbées, 20 sont dissipées en chaleur, 49 environ provoquent l'évaporation de l'eau des cellules, et 1 est réellement utilisée dans la photosynthèse. Le rendement énergétique est donc de 1 pour 100 seulement. Celui des algues est du même ordre de grandeur, dans la nature.

Par contre, le rendement énergétique maximal de la photosynthèse est de 25 pour 100. Ce rendement est atteint lorsque les organismes se trouvent dans les meilleures conditions possibles d'utilisation de la lumière. Celles-ci sont multiples. Les plus importantes concernent le mode de nutrition et le mode d'éclairage, et l'un des intérêts des cultures d'algues tient à la relative facilité avec laquelle ces conditions peuvent être réunies.

L'alimentation est facile à assurer et à contrôler. Ces algues, organismes autotrophes, trouvent dans des solutions nutritives appropriées, purement salines, les éléments nécessaires à leur croissance. Les milieux de culture artificiels sont toujours plus riches en aliments minéraux et mieux équilibrés que les eaux naturelles.

L'accélération des cultures exige l'emploi de solutions salines plus concentrées que les solutions utilisées habituellement. Le tableau I permet de comparer à la fois les différences de concentration entre une solution classique et une solution favorable au développement rapide des Chlorelles. On remarque que la solution synthétique complexe comprend un grand nombre de sels qui apportent les oligo-éléments indispensables aux orga-

TABLEAU I

SOLUTIONS EMPLOYÉES POUR LA CULTURE DES ALGUES

Solution de Knop modifiée pour la culture classique des algues :

KNO_3	0,1 pour 100
$Ca(NO_3)_2$	0,01 »
K_2HPO_4	0,02 »
$MgSO_4.7H_2O$ . .	0,01 »
$FeCl_3$.	traces

Les oligoéléments sont introduits par les impuretés qui accompagnent toujours les sels utilisés ainsi que l'eau, même distillée.

Solution de H. Tamiya utilisée dans la culture accélérée des Chlorelles :

KNO_3	0,5 pour 100
KH_2PO_4	0,25 »
$MgSO_4.7H_2O$. . .	0,5 »
$FeSo_4.7H_2O$ . . .	traces
BO_3H_3	»
$Cl_2Mn.4H_2O$ . . .	»
$So_4Zn.7H_2O$ . . .	»
$So_4Cu.5H_2O$ . . .	»
MoO_3.	»
NH_4VO_3	»
$Cr_2K_2(SO_4)_4.24H_2O$.	»
$NiSO_4.6H_2O$ . . .	»
$Co(NO_3)_2.6H_2O$ . .	»
$Na_2WO_4.2H_2O$ . .	»
TiO	»

Il est souvent nécessaire d'ajouter à la solution ce que l'on appelle des *chelats*, tels que l'acide éthylène-diamine-tétraacétique. Ces chelats forment avec les ions minéraux des *complexes*. L'action toxique de certains métaux, utilisés même à faible concentration, est ainsi neutralisée. Ces ions métalliques ne sont rendus disponibles qu'à la mesure des besoins des organismes. Les chelats permettent donc d'introduire les éléments minéraux à une concentration initiale plus élevée qu'on ne le fait habituellement.

nismes. Le *p*H du milieu doit être légèrement acide. La consommation rapide de l'ion nitrique NO_3^- dans la synthèse des protéines, entraîne une alcalinisation rapide du milieu dont le *p*H peut être diminué par l'addition d'acide nitrique dilué qui, de plus, restitue au milieu sa valeur azotée. Les nitrates peuvent également être remplacés par l'urée comme source d'azote. Les variations de *p*H sont alors moins étendues.

Les organismes aquatiques peuvent recevoir leur aliment carboné sous la forme d'anhydride carbonique dissous, ou sous la forme d'ions carboniques provenant principalement de la dissociation des bicarbonates et des carbonates. Toutes les algues ne peuvent utiliser directement les ions carboniques. Il en est ainsi des Chlorelles qui utilisent plus rapidement l'anhydride carbonique dissous dans l'eau. Mais, dans une solution acide, la réserve d'anhydride carbonique dissous est faible, trop faible pour assurer une rapide croissance de la culture. Aussi doit-on apporter aux algues un sérieux appoint carboné en assurant le contact du liquide avec une atmosphère enrichie en anhydride carbonique. On utilise habituellement de l'air enrichi en CO_2 à 5 pour 100. Dans l'atmosphère ordinaire, la faible tension de CO_2 (3 dix-millièmes) est un facteur limitant de la vitesse de la photosynthèse. L'enrichissement de l'atmosphère et des solutions du sol a un effet fertilisant très net. Il est plus facile à réaliser avec une culture aquatique qu'avec une culture aérienne qui exige la construction de serres hermétiquement étanches.

Le mode d'éclairement présente beaucoup d'intérêt. Pour les Chlorelles la *saturation lumineuse* est atteinte avec quelques milliers de lux. Avec un éclairement supérieur à la saturation lumineuse, l'excès de lumière n'est pas utilisé; il est donc perdu quand il n'est pas nocif en raison de photoxydations destructrices des pigments chlorophylliens. Cet éclairement de saturation est faible puisqu'un beau jour parisien offre 60 à 80 000 lux. Les recherches sur l'énergétique de la photosynthèse ont établi qu'une meilleure utilisation de la lumière intense peut être obtenue à la condition que l'éclairage soit intermittent.

Il est apparu que l'agitation des cultures pouvait être un moyen simple de réaliser la périodicité de l'éclairement et de l'occultation de chaque cellule d'algue dans une culture dense. Les déplacements verticaux relatifs des algues en suspension

1. *Algal Culture from laboratory to pilot plant*, Carnegie Institution of Washington, Publication 600, Washington D.C., 1953

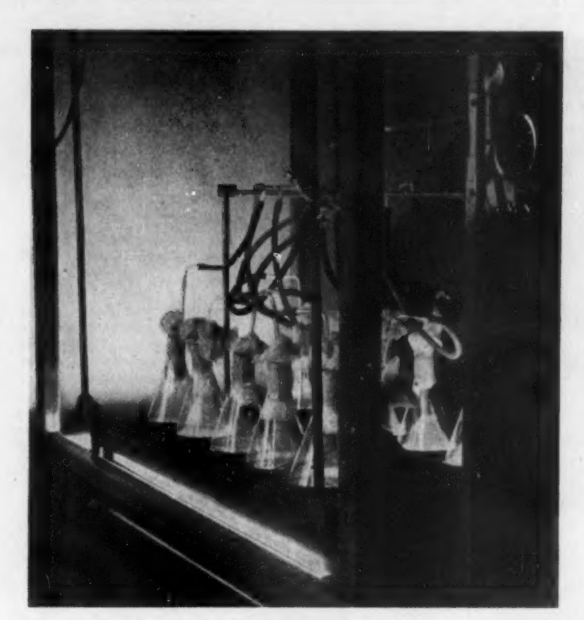


Fig. 2. — *Cultures de Chlorelles au Laboratoire de Photosynthèse du C.N.R.S. à Gif-sur-Yvette.*

Des fioles d'Erlenmeyer, contenant les cultures, sont disposées sur le berceau d'un agitateur mécanique et éclairées par dessous. Des tubes leur distribuent de l'air enrichi en anhydride carbonique. En haut et à droite, le cadran du compte-tours.

(*Photo* A. Moyse).

dans le liquide les approchent tantôt de la lumière qui leur apporte les photons nécessaires à la réaction photochimique de la photosynthèse, tantôt les éloignent vers le fond des récipients; se trouvant alors à l'ombre de leurs semblables, elles peuvent poursuivre les réactions sombres, enzymatiques, de la photosynthèse sans recevoir de la lumière en pure perte. Ainsi peuvent se succéder la décomposition de l'eau, réaction photochimique, puis les étapes de la réduction de l'anhydride carbonique par l'hydrogène provenant de l'eau décomposée (réactions sombres), dans les meilleures conditions de rendement. L'agitation idéale réaliserait le passage successif et bref de chaque cellule à la lumière et à l'obscurité.

La rapidité nécessaire de la périodicité, la réalisation des

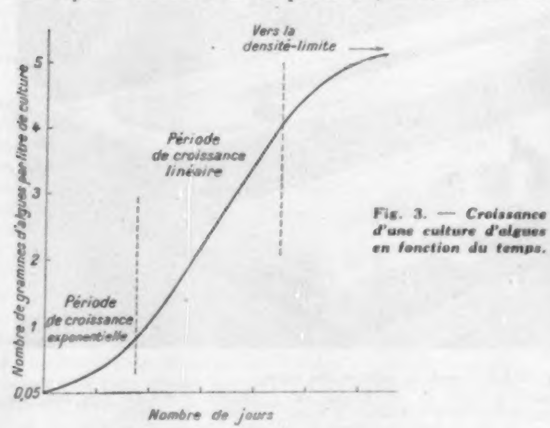


Fig. 3. — *Croissance d'une culture d'algues en fonction du temps.*

durées relatives convenables des périodes d'éclairement et d'occultation posent des problèmes délicats qui ne sont pas encore résolus d'une manière satisfaisante.

L'agitation, même faible, assure le brassage de la suspension et un bon contact avec l'atmosphère enrichie en CO_2.

Une température convenable est également utile pour assurer l'optimum de la vitesse des réactions photosynthétiques. La température de 25° C est la plus favorable pour de nombreuses souches, mais d'autres souches, adaptées à des températures plus élevées, croissent fort bien à 35° C.

Examinons maintenant les tentatives de cultures accélérées faites d'abord dans les laboratoires, puis dans les premières usines-pilotes, et les résultats qu'elles ont donnés.

La culture accélérée des Chlorelles au laboratoire. — La culture en fioles dans des conditions aseptiques, à température et en éclairage constants, ce dernier réalisé par la lumière artificielle, permet d'obtenir une croissance très rapide des algues. Un agitateur mécanique assure le brassage de la culture et réalise une certaine intermittence d'illumination pour chaque cellule quand la suspension est suffisamment dense (fig. 2 et figure de la couverture).

Il est possible de suivre la vitesse de la croissance d'une culture en suivant l'accroissement de la quantité de cellules, par comptage, ou bien par mesure du volume d'algues obtenu par centrifugation dans des conditions bien définies.

D'autres tests (variations de la densité optique des suspensions, variations du poids de substance sèche contenue dans un même volume de culture) permettent également de suivre cette vitesse. Ce sont là méthodes courantes en microbiologie.

La traduction des résultats sous forme de courbes exprimant la croissance (augmentation du poids ou du nombre de cellules) en fonction du temps révèle les faits suivants (fig. 3).

Après l'ensemencement, la croissance d'abord lente s'accélère rapidement. C'est la période *exponentielle*, durant laquelle toutes les cellules disposent de plus de lumière qu'elles n'en peuvent utiliser. A cette période succède la période de croissance *linéaire*. Les cellules utilisent alors au maximum la lumière qu'elles reçoivent. Puis la densité de la culture conti-

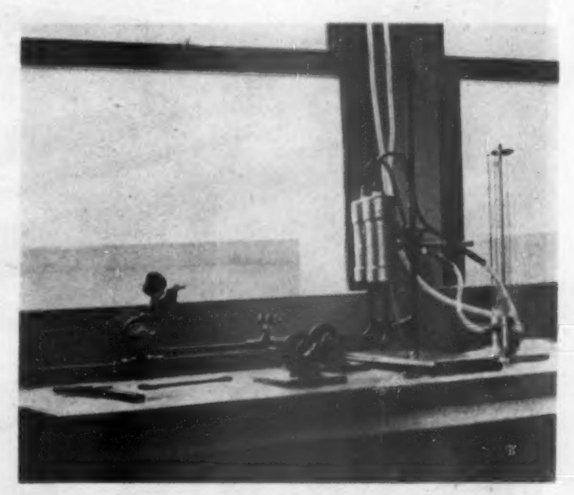


Fig. 4. — *Appareil de distribution de l'air enrichi en anhydride carbonique pour la culture des Chlorelles au Laboratoire de Gif-sur-Yvette.*

Des manodétendeurs et un double débitmètre permettent d'obtenir le mélange en proportions convenables de l'air comprimé et du CO_2 fourni par une bouteille. Des filtres cylindriques verticaux débarrassent les gaz de leurs poussières (*Photo* A. Moyse).

nuant à s'élever, les cellules ne disposent plus de la quantité maximale de lumière qu'elles peuvent convertir en énergie potentielle, et la croissance se ralentit. La culture se trouve alors au voisinage de sa *densité-limite*. La période de croissance linéaire est la plus intéressante du point de vue énergétique et l'on cherche à l'atteindre d'emblée par un ensemencement réalisant une densité convenable que l'on peut maintenir par réensemencement périodique ou par addition de milieu neuf, dès l'approche de la densité-limite.

Voici quelques résultats empruntés aux recherches du professeur Wassink et de ses collaborateurs de l'Université d'Agriculture de Wageningen (Pays-Bas).

La quantité de substance sèche organique synthétisée par une culture de *Chlorella vulgaris* offrant à la lumière une surface de 1 m² est de 5 à 20 g par jour. Le rendement énergétique est de 11 à 13 pour 100 lorsque l'éclairement est faible; avec un éclairement fort, le rendement énergétique est moindre (5 pour 100) bien que la masse de substance synthétisée soit plus élevée, car les pertes d'énergie sont aussi relativement plus grandes.

Les essais tentés en présence de la lumière solaire montrent que les rendements sont souvent plus faibles : 3 à 7 g par mètre carré et par jour, avec une utilisation énergétique de 2 à 6 pour 100, très variable selon l'intensité de la lumière. Ainsi, l'été, en pleine lumière, le rendement énergétique n'est que de 2 à 3 pour 100, alors qu'il est plus élevé à l'ombre. D'autres expériences montrent qu'en 5 jours, les cultures, pendant la phase exponentielle, accroissent leur substance sèche et le nombre de leurs cellules de plus de 60 fois.

Il est intéressant de comparer ces rendements à ceux qui sont obtenus avec les grandes cultures terrestres. Un bon Blé immobilise la terre pendant toute une année alors que sa période de synthèses intenses ne dure que 2 mois au plus. Son rendement en grain, matière consommable, est de l'ordre de 4 t/ha.

Pendant la même période une culture de Chlorelle, d'un rendement de 7 g par mètre carré et par jour, fournira autant de matière sèche beaucoup plus riche en protéines (le grain de Blé n'en contient que 12 pour 100, les Chlorelles en offrent 50 pour 100). Il n'est pas utopique, ainsi qu'on le verra plus loin, d'espérer pouvoir atteindre en plein air des rendements voisins de ceux qui sont obtenus dans les cultures au laboratoire. De plus ces rendements sont encore loin des possibilités optimales; n'oublions pas que le rendement maximal de la photosynthèse est de 25 pour 100.

Vingt grammes de substance sèche par jour et par mètre carré correspondent à 12 t en 2 mois par hectare et, si l'on peut utiliser la lumière solaire pendant 150 jours par an, ce qui est possible sous notre climat, le rendement sera porté à 30 t par an renfermant 15 t de protéines. Et il est des régions où la culture pourrait être poursuivie pendant presque toute l'année! On comprend que de tels résultats aient encouragé la construction d'usines-pilotes.

Les premières usines-pilotes. — La première usine-pilote, construite à Cambridge (U. S. A.) (fig. 5), comprend essentiellement un boyau de polyéthylène de 50 m de long sur 1,20 m de large offrant une surface disposée à la lumière solaire de 60 m² sous 10 à 15 cm d'épaisseur. Dans le boyau, plus de 4 m³ de culture sont introduits et une pompe assure la circulation du liquide à une vitesse de 10 cm/s. Un deuxième boyau, de section plus petite, permet d'obtenir une vitesse de circulation trois fois plus élevée et beaucoup plus favorable à l'agitation.

Dans le boyau, le liquide de culture est surmonté d'air enrichi en anhydride carbonique distribué par compresseur, bouteille de gaz et mano-détendeurs, sous contrôle de valves de sécurité. La récolte est faite périodiquement par centrifugation d'une partie de la culture. La densité de la suspension est alors ramenée à sa valeur initiale, favorable à une bonne croissance.

Plusieurs problèmes se sont immédiatement posés. La contamination par des Protozoaires, des Bactéries, des Rotifères, est



Fig. 5. — *L'usine-pilote de Cambridge (U.S.A.) pour la culture des algues.*

On remarque, sur le toit du premier bâtiment, les ouvriers en train de poser le boyau de polyéthylène qui contiendra la culture. Plus loin, un deuxième boyau est posé. Au fond, à gauche, des tubes verticaux ont servi également à l'essai de cultures accélérées.

(*Photo* A. D. Little, Cambridge, Mass.).



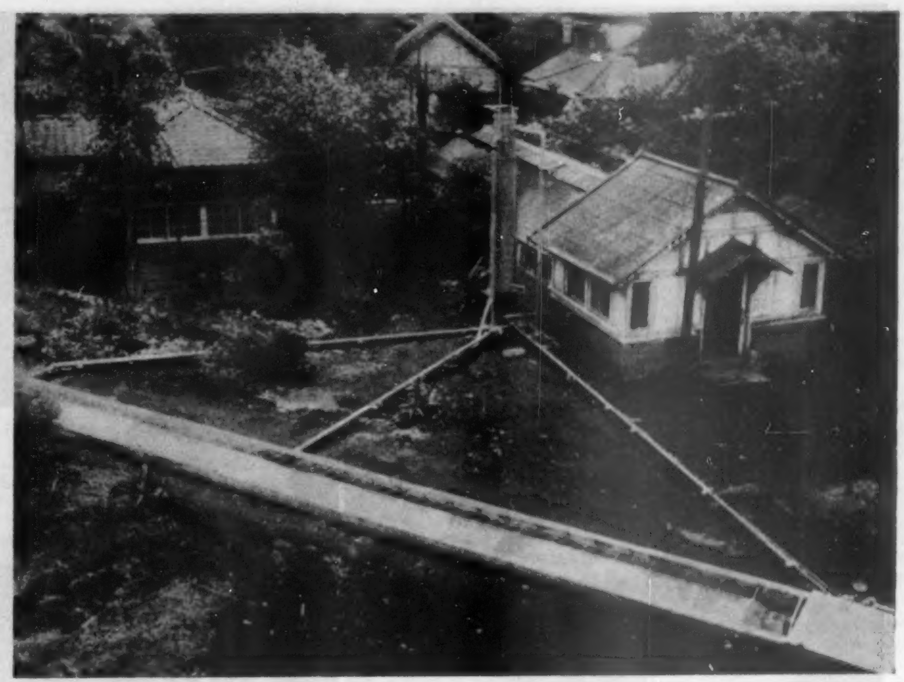


Fig. 6. — *L'usine-pilote de Tokyo.*
Au premier plan, la cuve allongée recouverte de polyéthylène. Des canalisations permettent la circulation de la culture jusque dans la tour où le liquide s'enrichit en anhydride carbonique. Au fond et à droite, un pavillon abrite les annexes : générateur d'anhydride carbonique, centrifugeuse, appareils de contrôle.

inévitable avec ces grands volumes. Elle ne paraît pas présenter de très graves inconvénients. Par contre, la température de la culture tend à s'élever dangereusement, l'évaporation de l'eau étant limitée. Un réfrigérateur est nécessaire pour maintenir la température au voisinage de 25° C durant les journées chaudes.

Une solution plus élégante est apparue : l'utilisation de souches d'algues plus résistantes à la chaleur. Une souche de Chlorelles isolée à l'Université du Texas croît aussi vite à 39° C que les souches habituelles à 25° C et n'est pas détruite, contrairement à ces dernières, à 45° C.

Les récoltes obtenues à Cambridge ont été variables selon les jours. Les meilleures n'ont pas eu lieu pendant les jours les plus propices par leur ensoleillement ou leur température; elles ont eu lieu dans les périodes durant lesquelles les incidents techniques furent les plus réduits! Les beaux jours sans incidents assurèrent une récolte de plus de 10 g de matière sèche par mètre carré et par jour. Au mois de décembre, un rendement de 4 g par mètre carré et par jour fut encore obtenu.

Si l'on est loin des 110 g par mètre carré et par jour qui correspondent à la meilleure utilisation possible de l'énergie solaire, ces rendements ne sont cependant pas négligeables. Ils se rapprochent beaucoup des rendements obtenus couramment au laboratoire et il ne fait guère de doute que des améliorations permettront d'élever le rendement dans les deux cas tout en abaissant considérablement le prix de revient des récoltes à grande échelle.

L'usine-pilote construite à Tokyo et confiée au professeur H. Tamiya comprend les mêmes organes essentiels et ne diffère que par la nature des matériaux utilisés et par la réalisation des dispositifs annexes (fig. 6).

Deux groupes conjugués de recherches ont paru immédiatement nécessaires. La sélection des souches à croissance rapide, résistantes, la lutte contre les parasites de culture, l'étude des meilleures conditions de rendement par l'amélioration des milieux de culture, la stimulation de la photosynthèse et de la croissance des algues, soit par l'action d'excitants, soit par une meilleure utilisation des intensités lumineuses solaires, constituent quelques-uns des principaux problèmes biologiques posés.

La recherche de matériaux plus propices, moins onéreux pour les installations, l'étude des meilleures modalités d'agitation afin d'élever le rendement énergétique des cultures, l'utilisation plus poussée des connaissances acquises en photosynthèse, caractérisent les principaux problèmes technologiques.

La conjonction des deux types de recherches ne pouvait être que fructueuse.

Le professeur H. Tamiya, à qui nous avons demandé des renseignements sur les cultures qu'il conduit, a eu l'amabilité de nous faire parvenir les résultats qu'il a obtenus au cours de l'hiver, du printemps et de l'été 1954.

Il a fait sélectionner par ses collaborateurs des souches de Chlorelles résistant à des températures de l'ordre de 40° C et présentant une croissance très rapide, puisqu'elles se divisent en donnant naissance à 7 ou 8 cellules-filles en 24 h.

De plus abandonnant la culture en récipients clos, il donne la préférence à l'installation de tranchées cimentées dont le fond est tapissé d'une toile de vinyle. Celle-ci isole la culture du ciment qui introduit dans les liquides des éléments néfastes aux organismes.

Dans le fond de ces tranchées, des tubes de vinyle, percés de trous çà et là, assurent la distribution d'air enrichi en anhydride carbonique. Le gaz, en barbotant, réalise une agitation qui évite la sédimentation des algues. La réfrigération est inutile, l'évaporation de l'eau évitant une élévation préjudiciable de la température de la culture (fig. 7 à 10).

Selon la saison, le choix des souches se porte sur celles qui croissent le mieux à la température moyenne du moment. La culture d'algues filamenteuses, faciles à récolter, a été également essayée avec quelques succès (fig. 11).

Ces tranchées sont beaucoup moins onéreuses que les installations fermées. Quelques inconvénients se manifestent : la dilution des solutions par les eaux de pluie, la concentration par évaporation, la contamination plus facile par les poussières. On peut y remédier par un apport correctif de sels nutritifs,

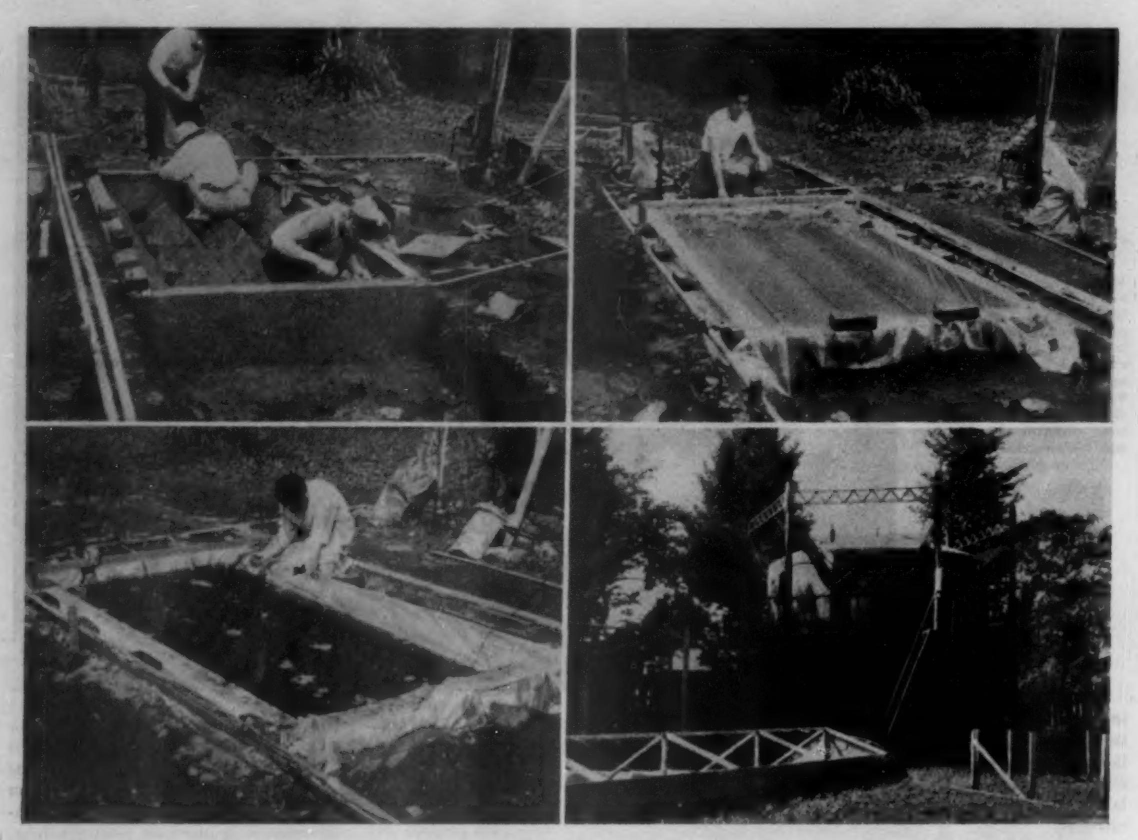


Fig. 7 à 10. — *Culture accélérée des algues à l'air libre, dans l'usine-pilote de Tokyo.*

En haut à gauche : Construction des tranchées pour culture à l'air libre ; le liquide ne dépassera que de peu le niveau des crêtes. *En haut à droite :* Le fond (crêtes et vallées) est recouvert d'une toile isolante en vinyle ; dans le fond des vallées, des tubes de vinyle percés çà et là distribueront l'air enrichi en anhydride carbonique. *En bas à gauche :* Culture en cours ; des bulles du gaz injecté montent à la surface ; les algues produisent de plus une véritable mousse. *En bas à droite :* Parmi les annexes, le gazomètre, réservoir d'air enrichi en CO_2.

(Photos aimablement communiquées par le professeur HIROSHI TAMIYA).

d'eau, par un nettoyage plus fréquent. La recherche de souches résistant mieux aux parasites des cultures, l'emploi de substances toxiques à l'égard des parasites et non toxiques pour les algues et pour l'homme sont à l'étude. L'apport continu d'air enrichi en anhydride carbonique est défavorable aux ennemis des cultures que sont les Rotifères et les petits Crustacés tels que les Daphnies.

Les rendements obtenus dans ces conditions par le professeur H. Tamiya furent beaucoup plus élevés que ceux atteints en vase clos. Par beaux jours, ils s'élevèrent à 20 g de substance sèche par mètre carré et par jour. Sous le climat de Tokyo, la moyenne annuelle pourrait être de 12 g au mètre carré par jour. Un rendement de 30 t à l'hectare peut donc être dépassé. Ces résultats sont très voisins de ceux obtenus dans les cultures de laboratoire.

Le coût en serait très bas dans de vastes installations. Il serait de l'ordre de 140 F par kilogramme d'algues séchées, soit 300 F par kilogramme de protéines consommables (1 kg de viande fraîche ne renferme que 200 g de protéines en moyenne).

Maintenant deux autres questions méritent d'être posées : quelle est la qualité des récoltes obtenues ? Quelle est leur utilisation éventuelle ?

Les algues, aliments et matières premières industrielles. — Après centrifugation des cultures les algues récoltées forment une pâte vert sombre, une bouillie cellulaire, encore riche en eau et qui, si on l'abandonne, entre rapidement en fermentation, en putréfaction. Pour conserver les algues, il est nécessaire de les congeler ou de les dessécher, soit par lyophilisation (sublimation de la glace à basse température), soit par chauffage. La poudre sèche, très hygroscopique, ne peut être conservée qu'à l'abri de l'humidité.

Certaines algues ont été appréciées de tout temps. Éléments de la cuisine d'Extrême-Orient, consommées encore parfois sur les côtes de la Mer du Nord, il s'agit alors d'algues marines.

Les algues d'eau douce cultivées ont certainement des qualités nutritives supérieures. Leur richesse en protéines l'atteste. Elles sont plus riches en protéines que la viande et le lait sec. On y trouve les acides aminés indispensables à la croissance des animaux en proportions convenables, à la teneur en méthionine près, teneur qui est un peu faible. La poudre de Chlorelles, administrée aux poulets, aux rats afin d'assurer leur ration protéique, s'est montrée supérieure à la levure de bière, à la farine d'arachide. Seule la poudre de lait semble préférable.

Les vitamines sont également bien représentées et il faut rappeler à ce propos les essais tentés au Vénézuéla pendant la

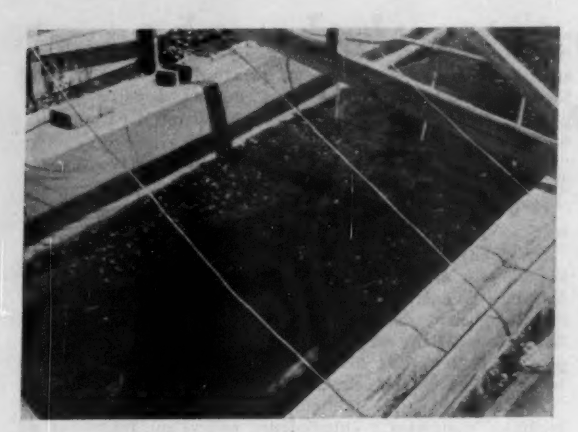


Fig. 11. — Cultures d'algues filamenteuses en tranchée ouverte, à Tokyo.

Des algues filamenteuses du genre *Ulothrix* ont remplacé dans cette tranchée les algues unicellulaires. Elles sont ici dans leur phase végétative ; leur reproduction pose des problèmes délicats, car elles cessent alors de croître et la tranchée est envahie par d'autres algues.

dernière guerre. Les lépreux de Cabo Blanco virent leur état considérablement amélioré par l'absorption, pendant plusieurs années, de soupes d'algues planctoniques d'eau douce cultivées simplement dans de grands pots de terre. L'effet fut attribué à la richesse de certaines algues en β-carotène précurseur de la vitamine A.

Le goût des algues pose un problème. Fraîches, les Chlorelles n'ont guère de goût. Celui-ci, en tous cas n'est ni fort, ni nettement désagréable. La poudre séchée a l'arôme du thé noir et exige des correctifs. La sélection des algues permettrait peut-être de l'améliorer. Ainsi que l'a écrit le professeur L. Plantefol : « Retrouvez-vous la « Belle de Fontenay » dans cette pomme de terre pâteuse, insipide et malsaine que condamnait, en 1630, un arrêt du Parlement de Franche-Comté qui en interdisait la culture ? (1) ».

Les chercheurs japonais ont essayé aussi, et non sans succès, une solution mixte. Elle consiste à incorporer de la poudre de Chlorelles séchées à de la farine, afin de faire du pain, des nouilles, des sauces, des crèmes. L'apport de poudre d'algues aboutit à un enrichissement d'aliments riches surtout en glucides, en substances nutritives non moins nobles : protéines, lipides, vitamines. On saisit l'importance de cet apport si l'on songe à la pauvreté en protéines et en vitamines du riz, aliment de base en Extrême-Orient. On pourrait schématiser l'opération de la manière suivante : donner à la farine de riz les qualités nutritives de la farine de Blé.

Dans ces conditions, le mauvais goût de la poudre d'algues brute s'estompe et le pain aux Chlorelles ne garde de cet apport qu'un accroissement de valeur alimentaire.

L'industrie de synthèse, de biosynthèse plus précisément, pourrait bénéficier des cultures d'algues. Si la recherche des antibiotiques n'a pas encore été apparemment retenue, si les algues ne semblent pas fournir jusqu'à présent une matière première très intéressante pour l'extraction de la plupart des substances connues, une indication précieuse a été donnée par l'analyse d'un *Scenedesmus*. De cette dernière algue il a été isolé un stérol, le *chondrillastérol*, substance intéressante pour la synthèse de la cortisone, et il est probable que l'analyse systématique des constituants des algues microscopiques, dont l'inventaire n'est pas terminé, réservera d'intéressantes surprises. Très peu d'espèces ont pu être étudiées jusqu'à présent, faute de masses suffisantes. D'autres usages encore ont été entrevus, par exemple la purification de l'atmosphère viciée des sous-marins puisque les algues restituent l'oxygène à l'air et consomment son anhydride carbonique.

L'avenir des cultures d'algues. — Ni un scepticisme outré, ni des espoirs démesurés ne sont de mise. Si les résultats obtenus dans les laboratoires ou sur de petites surfaces laissent penser que des cultures d'algues occupant une surface égale à celle de l'État de Rhode-Island, le plus petit des États des U. S. A., permettraient un jour d'assurer à la population du globe sa demi-ration de protéines, le progrès technique n'a pas encore atteint ces possibilités.

L'étude de la culture d'algues variées et l'amélioration des rendements sont à tenter ou à perfectionner. La culture d'algues peut trouver rapidement sa place parmi les autres cultures industrielles. Les résultats obtenus sont encourageants, et l'analyse des constituants des algues est pleine de promesses.

Ces cultures pourraient participer à la satisfaction de besoins alimentaires pressants. Quels seront ces derniers demain ? Aucune possibilité ne peut être négligée.

L'appauvrissement des gisements de charbon, de pétrole, risque de rendre urgent l'appel à d'autres sources d'énergie. Le soleil est la plus riche de toutes celles dont nous pouvons disposer. En une journée, il distribue sur l'aire d'action d'une bombe à hydrogène autant d'énergie que cette bombe lors de son explosion. De vastes surfaces désertiques sont abandonnées, les cultures classiques n'y sont pas possibles actuellement. La culture accélérée des algues n'exige pas de sol de végétation. Elle consomme relativement peu d'eau. Couplée avec l'industrie qui lui apporterait l'un de ses déchets, l'anhydride carbonique, elle contribuerait peut-être à la mise en valeur de ces terres déshéritées.

ALEXIS MOYSE,
Directeur du Laboratoire
de Photosynthèse du C.N.R.S.

Nous devons des remerciements à la direction de l'Institution Carnegie de Washington et au professeur Hiroshi Tamiya, de Tokyo, qui nous ont fourni une documentation très précieuse.

La réalisation de la photosynthèse hors des cellules vivantes

L'ASSOCIATION américaine pour l'avancement des Sciences a annoncé récemment que le professeur D. I. Arnon, phytophysiologiste de l'Université de Californie, avait réalisé la photosynthèse à l'aide de chloroplastes isolés des cellules végétales et maintenus *in vitro* en état fonctionnel. Cette belle découverte résout un problème à l'étude depuis près de vingt ans.

En 1937, le savant anglais R. Hill, après avoir isolé les chloroplastes de diverses feuilles par broyage et filtration, constata qu'ils provoquaient l'oxydation de l'hémoglobine en oxyhémoglobine lorsqu'on éclairait leurs suspensions aqueuses. Il remarqua que cette oxydation nécessitait la présence d'un sel ferrique. En présence de lumière, les chloroplastes isolés décomposent l'eau en ses éléments, le fer est réduit, l'oxygène oxyde l'hémoglobine.

Hill avait découvert la photolyse de l'eau par les chloroplastes isolés, selon la formule :

$$\underset{\text{ion ferrique}}{Fe^{+++}} + 1/2\, H_2O \xrightarrow{\text{lumière}} \underset{\text{ion ferreux}}{Fe^{++}} + H^{+} + 1/4\, O_2.$$

1. Les Algues et la faim humaine, *Revue des Deux Mondes*, 1er mars 1954.

Cette réaction est connue sous le nom de *réaction de Hill*.

Ultérieurement, il fut montré que de nombreuses substances organiques ou minérales, l'oxygène même, pouvaient être réduites à la place du fer et jouer le rôle de *réactifs de Hill*.

La réaction de Hill représente une des étapes de la photosynthèse, étape qui comprend la décomposition photochimique de l'eau, photolyse sensibilisée par les pigments chlorophylliens.

Dans la photosynthèse, l'oxygène de l'eau est finalement émis à l'état de gaz libre, l'hydrogène est fixé par des enzymes qui assurent ensuite la réduction de l'anhydride carbonique.

La cinétique de la photosynthèse et celle de la réaction de Hill ne sont pas tout à fait semblables, en raison des conditions différentes dans lesquelles se trouvent les chloroplastes *in vivo* et *in vitro*. Ainsi, l'optimum thermique est beaucoup plus élevé pour la photosynthèse que pour la réaction de Hill. Mais les deux mécanismes sont inhibés par l'hydroxylamine et leurs rendements énergétiques sont assez voisins.

Après la guerre, de nombreux chercheurs confirmèrent et développèrent ces résultats, en recherchant notamment si des produits intermédiaires de la photosynthèse ne pouvaient pas jouer le rôle de réactifs de Hill et être réduits en présence des chloroplastes isolés et illuminés. Il s'agissait de coupler la réaction avec les étapes non photochimiques de la photosynthèse.

Au cours des années dernières, les biochimistes Ochoa et Vishniac, à New-York, ont obtenu ainsi la réduction de l'acide pyruvique avec formation d'acide lactique, celle de l'acide oxalacétique avec formation d'acide malique. Dans les deux cas, il s'agit de la réduction d'une fonction cétonique

$$\rangle C=O \text{ en fonction alcool secondaire } \rangle C\langle^{H}_{OH}$$

Ces réductions se font, bien entendu, en présence des enzymes spécifiques (lactodéshydrase, malicodéshydrase).

La réaction de Hill et les réductions précédentes peuvent être couplées avec d'autres réactions, par exemple avec la fixation d'anhydride carbonique par l'acide pyruvique, ce qui réalise directement la synthèse de l'acide malique :

$$\underset{\text{acide pyruvique}}{CO_2 + CH_3{-}CO{-}COOH} + H_2 \xrightarrow[\text{+ enzymes}]{\text{lumière}} \underset{\text{acide malique}}{HOOC{-}CH_2{-}CHOH{-}COOH}$$

En compliquant les systèmes enzymatiques, en couplant la *réaction de Hill* avec l'activité d'enzymes d'origine végétale ou animale, Ochoa et Vishniac sont parvenus à réaliser la synthèse de glucides simples : trioses, hexoses, à partir d'acide phosphoglycérique, l'un des corps intermédiaires dans la réduction photosynthétique ([1]).

Il ne manquait, pour avoir réalisé une photosynthèse *in vitro*, que de partir directement de l'anhydride carbonique.

Le pas a été franchi par le professeur Arnon et ses élèves, au cours de recherches effectuées l'année dernière.

Les détails expérimentaux n'en sont pas encore publiés, mais le professeur Arnon m'écrivait, en avril dernier : « Nous avons obtenu, avec une évidence incontestable, la fixation de CO_2 par les chloroplastes isolés, dans certaines conditions. La photosynthèse extracellulaire est réalisée, en ce sens que les chloroplastes peuvent fixer CO_2 et libérer de l'oxygène (réaction de Hill) hors de l'organisation cellulaire ».

Bien sûr, cette réalisation emprunte aux cellules vivantes des organites complexes : chloroplastes entiers ou fragments de chloroplastes et enzymes d'origine cellulaire, mais ce qu'elle a de remarquable réside en ceci : elle montre que l'organisation cellulaire intacte, complète, n'est pas nécessaire pour que la photosynthèse ou un mécanisme très proche d'elle puisse se réaliser.

De vastes perspectives de recherches avaient été ouvertes par la découverte de R. Hill. De nombreux chercheurs les ont déjà explorées. Le professeur Arnon, loin d'y mettre un terme par sa découverte, en accroît encore l'intérêt. Nous ne sommes pas assurés que les chloroplastes trouvent *in vivo* les meilleures conditions de leur activité. Nous savons que de nombreux produits du métabolisme freinent les synthèses biologiques. Il n'est pas interdit de penser que l'homme pourra fournir aux organites isolés des cellules de meilleures conditions d'action.

La connaissance du mécanisme de la photosynthèse s'est considérablement enrichie par l'étude des propriétés des chloroplastes isolés. Cette étude a permis de faire une synthèse du mécanisme de l'assimilation chlorophyllienne. Elle permettra peut-être à l'homme de mieux utiliser l'énergie solaire que ne le font les plantes dans les conditions naturelles.

A. Moyse.

1. Voir *La Nature*, novembre 1953, p. 334-339.

Le laboratoire nucléaire européen aura deux accélérateurs de protons

Les états membres du Conseil européen pour la recherche nucléaire sont au nombre de douze : Belgique, Danemark, France, Grèce, Italie, Pays-Bas, Norvège, Suède, Suisse, République fédérale allemande, Grande-Bretagne, Yougoslavie. Ce conseil, plus connu sous le nom de C.E.R.N., a tenu sa première session le 2 mai 1952 à Paris sous la direction du professeur Amaldi, de Rome ; *La Nature* (mai 1952, p. 154) a indiqué dès cette époque les buts de cette organisation qui a été envisagée pour la première fois par M. Louis de Broglie à la Conférence européenne de la Culture, tenue à Lausanne en décembre 1949. L'U.N.E.S.C.O. peut être considérée comme l'organisation marraine du C.E.R.N. ; c'est lors de sa session générale de 1950 à Florence qu'il fut décidé d'encourager des recherches scientifiques régionales dans les domaines où les efforts d'un seul pays étaient insuffisants pour la tâche à accomplir.

Le canton de Genève ayant accepté d'héberger le laboratoire du C.E.R.N., on arrêta un budget de 120 millions de francs suisses pour les sept premières années de travail. La principale tâche matérielle consistera à construire deux grands accélérateurs de protons.

Le premier de ces accélérateurs, le synchro-cyclotron, entrera en fonction dans trois ans environ et produira des protons accélérés sous 600 millions de volts. Cette machine, quoique pourvue d'améliorations importantes, ne sera pas d'un type absolument nouveau ; il en existe de comparables qui fonctionnent déjà aux États-Unis et en Angleterre.

En revanche, le second accélérateur, le proton-synchrotron, est d'un type totalement inédit : il procurera aux protons une accélération correspondant à une différence de potentiel de 25 milliards de volts. On n'a encore jamais atteint, dans aucun laboratoire, une énergie aussi haute dont on évaluera l'énormité en la comparant à l'énergie de liaison intra-nucléaire (appelée couramment « énergie atomique ») qui se mesure simplement en millions de volts et non en milliards. On conçoit que les principes de construction de cette machine soient entièrement nouveaux. Les plans actuels prévoient son achèvement dans six ans environ.

Dans la nature, seuls les rayons cosmiques atteignent ou dépassent parfois l'énergie des radiations que produira le proton-synchrotron. Cela explique que les recherches actuelles du C.E.R.N., en attendant la construction des machines, soient surtout consacrées aux rayons cosmiques. Ceux-ci, lorsqu'ils rencontrent des noyaux atomiques, font apparaître un grand nombre de particules élémentaires encore très mal connues. C'est de l'étude de ces particules qu'on attend les prochains progrès de notre connaissance de l'intimité de la matière.

Les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux publics

L'activité des chercheurs qui s'intéressent aux problèmes de la construction est tributaire de multiples spécialités scientifiques et techniques. A ces problèmes se consacrent en France plusieurs laboratoires : celui des Ponts et Chaussées, orienté surtout vers les questions routières; le Centre scientifique et technique du Bâtiment, à l'agrément duquel sont soumis tous les matériaux et procédés de construction destinés aux entreprises du ministère de la Reconstruction et du Logement; le Laboratoire de la Ville de Paris, chargé de la garde de la marque nationale du ciment; le Laboratoire du Centre de recherches des liants hydrauliques; l'Institut scientifique du Centre Ouest, à Poitiers... Ce sont encore, installés à Paris, rue Brancion, les très importants Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, que dirige M. Robert L'Hermite, et dont nous parlerons aujourd'hui.

Ils ont déjà vingt ans d'existence, ayant été créés en 1934, par les professionnels du bâtiment et des travaux publics, afin d'effectuer toutes recherches et tous essais sur les matériaux qu'ils emploient et de résoudre les différents problèmes techniques qui se posent à eux.

A l'origine, les Laboratoires occupaient trente personnes. Ils en occupent aujourd'hui deux cents, dont une cinquantaine d'ingénieurs. Ils possèdent, à Saint-Rémy-les-Chevreuse, un champ expérimental de 8 ha où de multiples aménagements sont prévus. (La célèbre vallée de Chevreuse, où se trouvent déjà les vastes installations de Saclay, ainsi que celles du C. N. R. S., devient de plus en plus la Vallée de la Science et de la Technique). Des laboratoires locaux ont été constitués çà et là, tant en France métropolitaine (Bordeaux, Rouen, Dijon, Orléans...) qu'en France d'outre-mer, où l'on doit noter celui d'Alger, qui possède une succursale à Bône, celui de Casablanca, inauguré l'an dernier, ceux de Dakar, de Douala, de Brazzaville, de Saïgon; cet ensemble occupe quelque 350 personnes. Un autre laboratoire va être créé à Abidjan, port dont on sait que l'importance va croissant. Enfin, des laboratoires volants vont résoudre sur place, là où on les appelle, tel ou tel problème. Un de ces laboratoires volants vient ainsi, récemment, de se rendre à l'aérodrome de Dreux pour y étudier les questions concernant l'aire d'atterrissage.

Les laboratoires de la rue Brancion consacrent plus de 100 millions par an à la recherche expérimentale. Ils comportent plusieurs départements.

Celui de la Mécanique du Sol s'occupe des opérations qui conduisent à donner aux constructeurs des chiffres susceptibles de déterminer les fondations de leurs ouvrages, qu'il s'agisse d'un immeuble, d'un pont ou d'un barrage. (Ici viennent d'être étudiés le sol des futurs bâtiments de l'Unesco, ainsi que celui qui portera la Maison de la Radiodiffusion-Télévision Française). Les *carottes*, c'est-à-dire les échantillons du terrain (fig. 1), jalousement conservées à l'abri de l'évaporation dans des boîtes étanches — car l'eau joue ici un rôle essentiel — sont soumises à toutes sortes d'examens : mesure des quantités d'eau qui en sortent à la compression, de la perméabilité, de la vitesse de déformation, de la résistance au cisaillement en fonction de l'effort vertical, etc. Cela conduit à maints calculs dont l'interprétation, qui est fort délicate, permet enfin de déterminer quel est le taux de travail que pourra supporter le sol.

On s'efforce de perfectionner ces méthodes, car l'échantillon apporté au laboratoire peut ne pas être absolument représentatif du sol. L'opération du prélèvement elle-même introduit des perturbations... D'où le slogan de la maison : « Le Laboratoire doit aller au Chantier ! ». Au chantier, en effet, on procède à des essais non destructifs *in situ*, cela par diverses méthodes.

Il y a la méthode du tremblement de terre artificiel. Un moteur agissant sur des poids excentriques frappe le sol, et l'on mesure la vitesse de transmission, les réflexions des ondes sismiques produites localement. C'est, à micro-échelle, la méthode des prospecteurs de pétrole qui, eux, recourent à des charges explosives introduites dans l'épaisseur des terrains. Une autre méthode, par essai de pénétration, consiste à enfoncer dans le

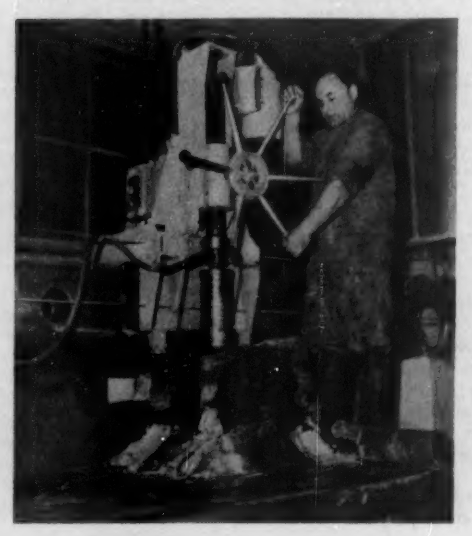


***Fig. 1** (à gauche). — Prélèvement de carotte dans un bloc de roches.*



***Fig. 2** (à droite). — Sonde pour la détermination de la teneur du sol en eau par la méthode des radio-isotopes.*

(Photos Bâtir, H. Frechou).

sol une tige de métal (cela, parfois, jusqu'à 25 m) afin de voir quelle force s'oppose à son enfoncement, ce qui renseigne sur la consistance des différentes couches rencontrées.

Ici et là, pour éviter toutes erreurs de lecture, on utilise des appareils à enregistrement automatique.

Sondages radioactifs. — Essentielle, avons-nous dit, la connaissance de l'eau contenue dans les différents matériaux qui constituent le sol. Outre son exacte teneur en eau, il faut aussi connaître très exactement sa densité. Pour apprécier l'une et l'autre, il est fait appel à la physique atomique. On procède, en effet, à des sondages radioactifs (fig. 2). A l'aide d'une source radioactive et d'un compteur de particules placés dans un container descendu dans le trou de sonde, on mesure les variations du rayonnement pénétrant *gamma* « réfracté » par les différentes couches. D'autre part, pour apprécier la quantité d'eau, on utilise une source de neutrons (radiocobalt). Les neutrons sont freinés par les noyaux d'hydrogène. La courbe d'intensité inscrite correspond donc à la quantité d'hydrogène rencontré par les neutrons. Or, pratiquement, l'hydrogène du sol, c'est celui qui se trouve dans ses molécules d'eau. Par conséquent, on peut se rendre compte ici de la plus ou moins grande quantité d'eau présente dans les roches.

Avec la collaboration des physiciens de Saclay, il a été mis au point un compteur neutronique qui donne entière satisfaction.

Passons au département du Gros-Œuvre, lui-même subdivisé en plusieurs sections, au premier rang desquelles celle des matériaux pierreux et celle du béton.

Le centre de recherches de la rue Brancion est aujourd'hui considéré comme le premier laboratoire du monde en ce qui concerne le béton, ce matériau complexe, « vivant », dont les propriétés sont très variables selon sa composition, qui pose d'innombrables problèmes et dont l'étude est devenue une branche spéciale, extraordinairement ramifiée, de la technologie moderne. Énumérons quelques-unes des recherches qu'il suscite : granulométrie, déformation, fluage, usure, retrait, bétonnières et mélangeurs, etc. (La seule question du retrait fait l'objet de recherches assidûment poursuivies ici depuis dix ans...).

Auscultation par le son. — De très grande importance, encore, les questions de *contrôle*.

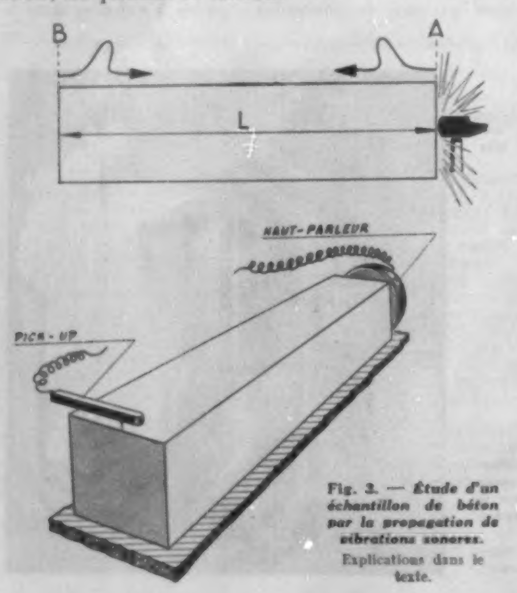


Fig. 3. — Étude d'un échantillon de béton par la propagation de vibrations sonores.
Explications dans le texte.

Pendant la fabrication du béton, on prélève des échantillons cubiques, qu'on écrase pour connaître leur degré de résistance. Mais, comme il a déjà été souligné, toute opération de prélèvement est perturbatrice et il importe beaucoup de savoir quelle est la valeur du béton dans l'ouvrage même. On a imaginé pour cela une méthode *non destructive*, qui donne les meilleurs résultats : la *méthode sonique*.

Avant de décrire celle-ci, rappelons quelques notions concernant la déformation sous charge.

Sous charge, le béton, comme toute matière solide, se déforme, la déformation subie augmentant avec le temps de chargement. Tandis que les déformations instantanées, élastiques, semblables à celles d'un ressort, sont réversibles, les déformations lentement acquises subsistent : elles sont permanentes et irréversibles. Les déformations subies par le béton sont insensibles à l'œil et l'on peut les mettre en évidence par un essai de flexion. En compression et en traction, la déformation, contraction ou allongement dans le sens de l'effort, est accompagnée d'une déformation transversale de dilatation ou de contraction, comme si la matière élastique « voulait » s'opposer à toute variation de volume. Le rapport entre la déformation transversale et la déformation longitudinale est le *coefficient* ou *module de Poisson*. La connaissance de l'élasticité du béton est indispensable pour le calcul de la déformation des ouvrages. On définit alors le module d'élasticité du béton comme le rapport entre le taux de travail et la déformation élastique correspondante.

Le taux de travail N en traction et en compression est égal à la charge P appliquée, divisée par la surface S : $N = P/S$ kg/cm². La déformation d est donnée par rapport à la longueur initiale; c'est une déformation relative : $d = D/L$, D désignant la variation de la longueur initiale L. Le *module d'élasticité* E est égal au taux de travail divisé par la déformation relative; il augmente lorsque le béton est moins déformable : $E = N/d$. Pour les différents bétons, ce module varie, à partir de 28 jours d'âge, entre 200 000 et 500 000 kg/cm². Il augmente en même temps que la résistance et la compacité.

Or, un échantillon de béton, moulé à part, ne représente pas fidèlement le béton de l'ouvrage. L'expérience montre le plus souvent, notamment, que la résistance de cubes taillés dans la masse est supérieure à celle des cubes témoins. D'où le grand intérêt d'un moyen non destructif de mesure tel que l'auscultation acoustique, par mesure de la vitesse du son.

On sait que la propagation du son dans un solide s'effectue, comme dans l'air ou dans l'eau, sous forme d'ondes. Un ébranlement provoqué par un choc, par exemple, détermine la formation de deux sortes d'ondes : une onde de compression, longitudinale, et une onde de distorsion, transversale. Mais ces deux ondes ne se déplacent pas à la même vitesse. Le train d'ondes longitudinales se propage plus vite que le train d'ondes de distorsion. La connaissance de ces deux vitesses dans un solide permet de déterminer le module d'élasticité et le module de Poisson.

Prenons une tige de béton de longueur L et appliquons à son extrémité A une impulsion (choc) (fig. 3). Cette impulsion se propage dans la tige avec une vitesse v. Arrivée à l'extrémité de la tige, l'onde est réfléchie, elle rebondit comme une balle contre un mur, et revient en A, où elle se réfléchit de nouveau. Si l'on s'arrange pour provoquer à cet instant une nouvelle impulsion, l'intensité des déformations se superpose à celle qui est due à la nouvelle impulsion et l'amplitude du mouvement augmente. A l'extrémité B de la tige, l'amplitude du mouvement est la plus grande lorsque le temps qui s'écoule entre deux impulsions successives correspond à la durée de l'aller et retour de l'onde. La tige est alors « en résonance ». Elle vibre comme un pendule entretenu sur sa fréquence propre.

L'appareil de mesure est simple. L'échantillon prismatique à ausculter étant posé sur un tapis de caoutchouc mousse, est

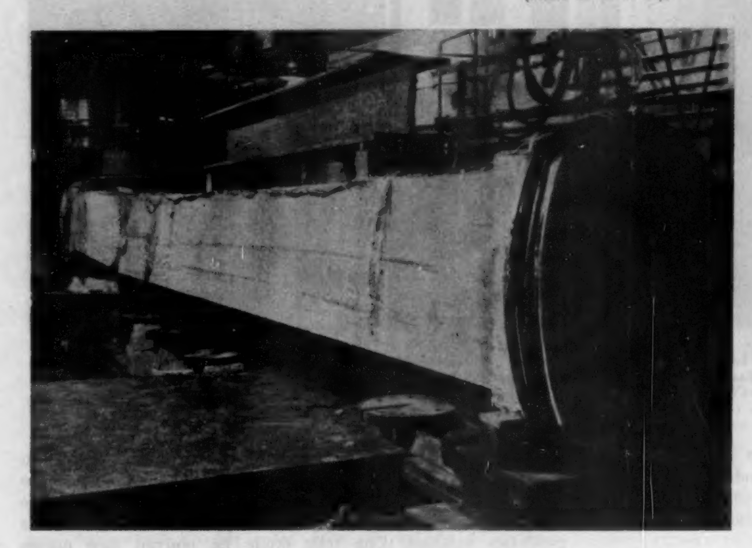


Fig. 4. — Essai poussé à rupture d'une poutre de 9 m de long en béton précontraint, sous deux vérins de 100 t de la machine à charge des L. B. T. P.

Cette machine, avec une capacité de charge de 10 000 t, est une des plus puissantes du monde ; on voit en haut et à gauche un vérin de 2 000 t. Au cours de cet essai, la répartition des déformations dans les différentes sections a été déterminée à l'aide de jauges à fil résistant..

(Photo L. B. T. P.).

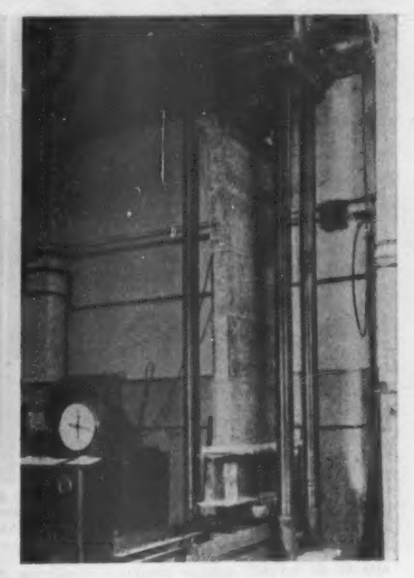


Fig. 5. — Essai mécanique d'une cloison sur toute sa hauteur.

(Photo Bâtir, H. Frechou).

attaqué à une extrémité par un haut-parleur, et un pick-up est disposé à l'autre bout. La variation de fréquence de vibration du haut-parleur fait varier l'amplitude du mouvement de l'aiguille du pick-up, que l'on mesure sur un oscillographe cathodique. On mesure alors la fréquence (n vibrations par seconde) qui détermine l'amplitude maximum. Cette fréquence indique que l'onde fait n fois aller et retour par seconde et la vitesse v est n fois le double de la longueur : $v = 2nL$. Cette mesure de la propagation du son dans le solide est indirecte et ne peut être faite que sur éprouvette. Mais la mesure directe dans un ouvrage est également possible.

Un choc donné en un point engendre deux trains d'ondes, longitudinal et transversal, que l'on peut discriminer suivant la position que l'on donne au pick-up. Le temps nécessaire pour que le train d'ondes passe d'un point A à un point plus éloigné B permet de calculer la vitesse de propagation de l'ébranlement. Cette mesure peut être faite à la surface du béton ainsi que dans son épaisseur. Lorsque la qualité du béton change, la vitesse change. Lorsqu'il existe une fissure, le train d'ondes doit la contourner, ce qui provoque un retard dénonciateur, permettant de calculer la profondeur de cette fissure. Il en est de même pour un défaut interne, décelable en position et en importance par des mesures de temps de propagation.

Ces essais doivent être faits avec un appareillage d'une précision extrême : on doit ici pouvoir mesurer le millionième de seconde. Aujourd'hui pleinement satisfaisants, les détecteurs utilisés ont demandé pour leur mise au point plusieurs années de travaux. La méthode est devenue d'un emploi courant; les applications en sont multiples : recherche des parties d'un ouvrage endommagées par incendie, corrosion, gel, etc. Pour connaître exactement la qualité du béton, il faut relier la vitesse du son au module d'élasticité et à la résistance. La densité apparente étant D (le poids divisé par le volume), le module d'élasticité E est égal au produit de la densité apparente par le carré de la vitesse des ondes longitudinales ($E = Dv^2$). La résistance à la compression peut être approximativement obtenue en divisant le carré du module d'élasticité par le carré d'un coefficient constant K, voisin de 21 000 kg/cm², et qui peut, plus précisément, être déterminé sur quelques éprouvettes du même béton.

On peut donc, par ce procédé, connaître la résistance réelle du béton en place. Le « Service Auscultation » des Laboratoires dispose actuellement de trois camions équipés avec les appareils nécessaires, à la disposition des entrepreneurs.

Du service des Matériaux au laboratoire de Thermique. — Donnons un aperçu des travaux poursuivis dans les autres secteurs. Le service des Matériaux possède, entre autres, installé dans un grand hall d'essais, un tunnel de charge où des

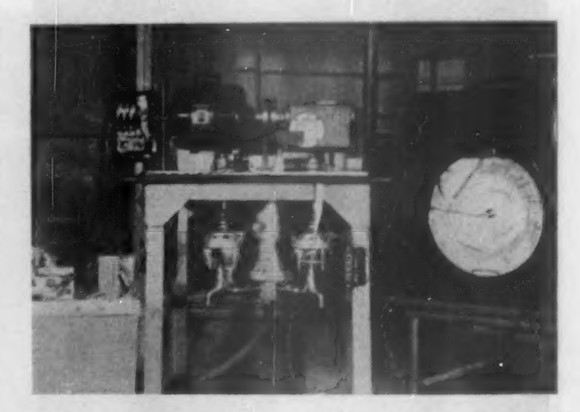


Fig. 6. — Mise au point d'un appareil destiné à essayer les robinets.

Dans cette machine, qui permet de mesurer l'usure des garnitures, vis, sièges, etc., on a éliminé le coefficient personnel de serrage qui empêche toute commune mesure entre deux opérateurs : les robinets sont manœuvrés à la vitesse usuelle et le couple de fermeture est constant ; la marche est entièrement automatique, le couple de serrage choisi asservissant tout le mécanisme.

(Photo L. B. T. P.).



Fig. 7 à 9. — *De gauche à droite : Le « thermomètre résultant » ; Mesure de la perméabilité à l'air d'une fenêtre ; Essai sur panneaux de chauffage par le sol.*
(*Photo Bâtir*, H. Frechou). (*Photo L. B. T. P.*). (*Photo Bâtir*, H. Frechou).

efforts de 10 000 tonnes peuvent être exercés (fig. 4). Dans la section du Froid, bétonnières, machines à souder, fonctionnent dans des conditions véritablement hivernales. Dans le service Physique et Structure, l'électronique joue, bien entendu, un rôle prépondérant.

Ce département possède un laboratoire de Thermique, où se poursuivent toutes études concernant le chauffage, en particulier le chauffage par le sol. Mentionnons à ce sujet une ingénieuse et curieuse réalisation : celle d'un pied humain artificiel (fig. 10) destiné à répondre à la question suivante, beaucoup plus complexe qu'on ne pourrait le croire de prime abord : à quelle température maximum peut-on porter le sol d'une pièce, dans le cas d'un plancher chauffant ? Une enquête a d'abord été menée auprès de diverses personnes — hommes et femmes de 20 à 68 ans — à qui l'on a mis une chaufferette sous les pieds, maintenue à telle ou telle température par un thermostat, en leur demandant de dire si elles se trouvaient ou non « confortables ». Mais ce *gallup* a donné une trop grande dispersion et il a été impossible d'en tirer des conclusions générales valables. Une telle étude ne pouvait être menée objectivement qu'en regard des phénomènes de thermorégulation et l'on a recouru à un pseudo-pied, constitué par une enveloppe d'acétate de cellulose remplie de coton où des résistances chauffantes correspondent aux vaisseaux veineux et artériels véhiculant des calories. Des couples thermoélectriques sont placés, aux mêmes endroits, sur le pied artificiel et sur le pied vivant d'un expérimentateur soumis côte à côte, en même temps, au même chauffage. Résultat qu'on ne saurait obtenir par un moyen différent, on peut ainsi, avec le pied factice, connaître le nombre de calories que l'expérimentateur envoie dans son propre pied, cela en comparant les températures de celui-ci et de celui-là ; et l'on arrive finalement à déterminer la température du confort, qui est de 27°-28°.

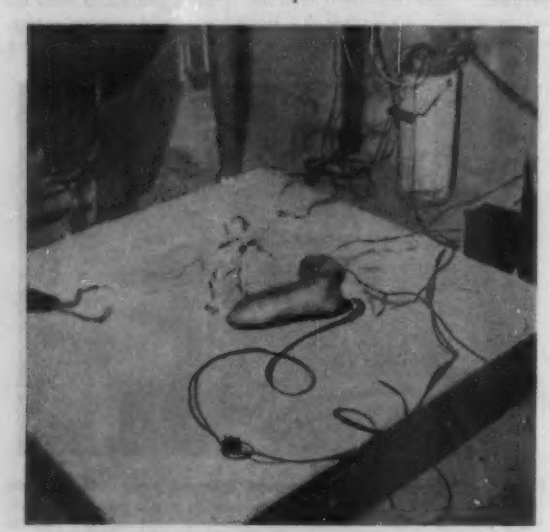


Fig. 10. — *Le « pied artificiel » pour l'étude du chauffage d'un plancher.*
(*Photo Bâtir*, H. Frechou).

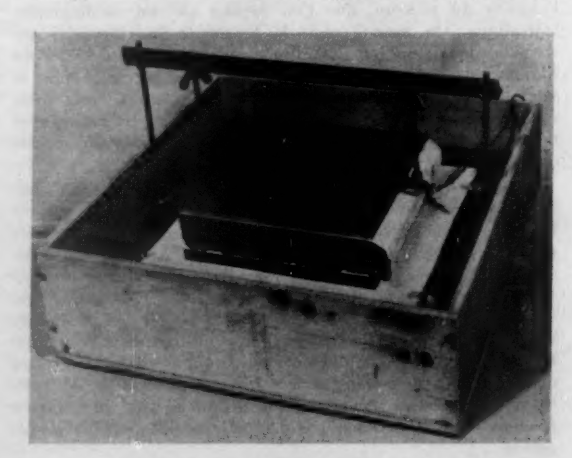


Fig. 11. — *Dispositif pour l'étude de la conductivité thermique des matériaux.*

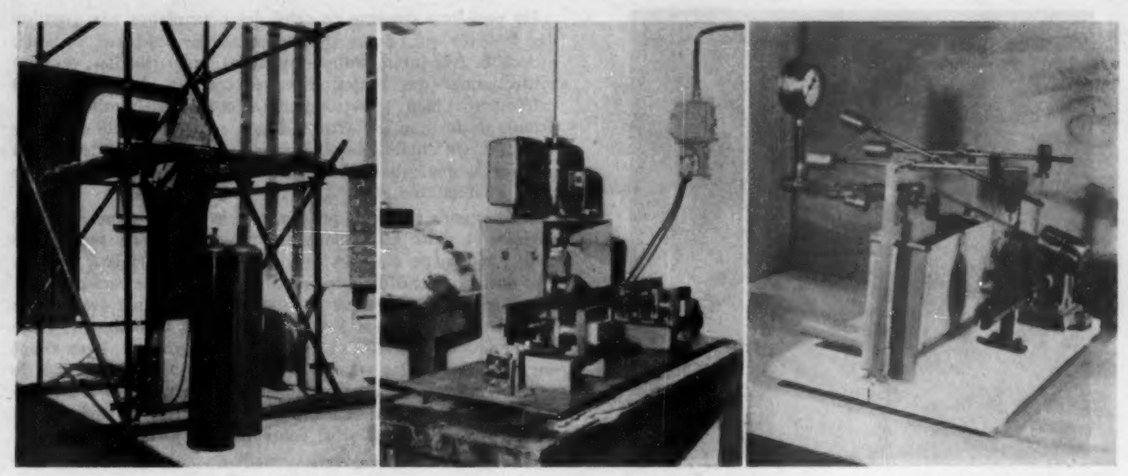


Fig. 12 à 14. — *Dispositifs d'étude utilisés aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux publics.* — *A gauche :* *Essai de choc thermique par le propane sur des éléments de cheminée (étude de la résistance au feu de cheminée).* — *Au milieu :* *Machine à essayer les serrures.* — *A droite :* *Machine à essayer les robinets des réservoirs de chasse d'eau.*

(Photos *Bâtir*, H. Frechou). (*Photo L. B. T. P.*).

Bien d'autres dispositifs sont utilisés par les thermiciens. Pour mesurer la conductivité thermique d'un matériau, on dispose une source chaude entre deux plaques de ce matériau, mises elles-mêmes en sandwich entre deux sources froides, de façon à rendre le problème parfaitement symétrique (fig. 11).

Dans une pièce donnée, la *bonne température* indiquée par le thermomètre ordinaire ne signifiant pas nécessairement confort thermique pour l'occupant, et inversement (on peut, dans un air froid, éprouver une agréable sensation de chaleur), c'est au *thermomètre résultant* — une petite boule noire dans laquelle sont logés des thermocouples — que l'on fait appel pour être exactement renseigné (fig. 7).

Les « guignols », constructions dans l'ouverture desquelles on édifie des murs expérimentaux parfois munis de fenêtres, servent à étudier les déperditions de chaleur, la pénétration et la transsudation de l'eau sous arrosage (fig. 8).

On a encore aménagé une manière de caverne, vaste cube de 8 m d'arête, creusée dans le calcaire du sous-sol, où s'étalent horizontalement des éléments de « planchers » en béton avec tuyauteries incorporées (fig. 9). Il s'agit ici d'étudier l'influence du chauffage sur le béton. On chauffe pendant 4 heures, on laisse refroidir pendant 8 heures, on chauffe de nouveau..., et l'on regarde si des fissures se produisent. Des plots insérés latéralement permettent d'observer les variations de longueur. Et l'on procède aussi à des auscultations soniques. Il sera possible de construire ici une maison de deux étages et d'établir un climat donné, avec possibilité de soufflerie. On pourra ainsi étudier les modes de chauffage avec des conditions extérieures précisément connues, de — 25° à + 40°.

On étudie encore, rue Brancion, la résistance des matériaux sur modèles réduits (fig. 15 et 16). Pour l'étude des barrages, l'eau est remplacée par du mercure. Des installations spéciales sont réservées à l'étude de la photoélasticité. Les différents métaux et les innombrables alliages utilisés dans la construction font l'objet de multiples recherches. D'autre part, le laboratoire de chimie étudie les propriétés des liants hydrauliques et des matériaux pierreux, les peintures et vernis. On y effectue notamment des essais de vieillissement artificiel. Des échantillons sont aussi exposés en des lieux différents — Paris, Marseille, Alger, Dakar, etc. — de façon à subir l'action des diverses sortes de climats : urbain, marin, tropical, équatorial...

Problèmes d'outre-mer. — Les problèmes qui se posent aux constructeurs dans les pays chauds sont parfois assez inattendus.

C'est ainsi que dans la région de Biskra, à El Oued, la présence de l'eau, à 40 cm au-dessous de la surface du sol, demeure énigmatique, et l'on cherche à préciser le mécanisme des condensations nocturnes dans le Sahara où les dunes jouent peut-être — l'hypothèse reste à vérifier — le rôle de « puits aériens ».

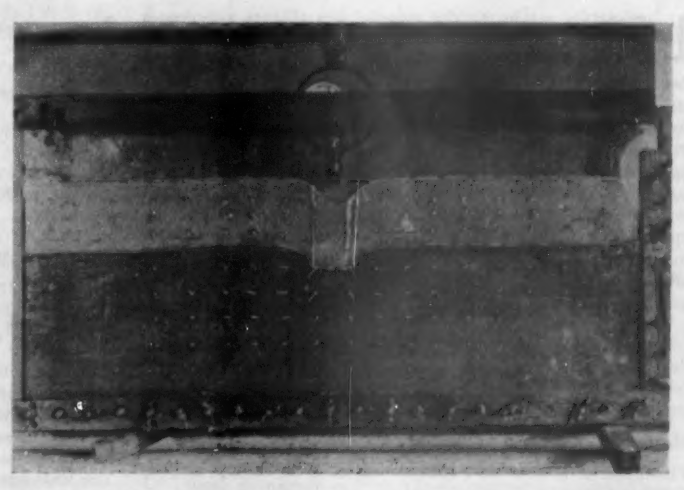


Fig. 15. — *Étude sur modèle réduit du poinçonnement, par une fondation, d'une couche de sable portée par un fond vaseux (problème de port).*

On constate ici la réalisation d'un poinçonnement droit ; les petits traits indiquent les trajectoires de certains grains repérés spécialement et montrent le refoulement latéral, et de bas en haut, de la vase (*Photo L. B. T. P.*).



Fig. 16. — Complexité d'une mesure extensométrique sur un modèle de barrage.

C'est ainsi qu'au Maroc, où les indigènes savent faire la chaux, on étudie les poudres volcaniques, les *pouzzolanes*, qui se trouvent dans le Moyen Atlas et dans le Grand Atlas, analogues à celles que les Romains utilisaient pour leur fameux ciment. On a déjà repéré d'intéressants gisements de matériaux à propriétés pouzzolaniques qui permettent aux indigènes de fabriquer eux-mêmes les agglomérés, les mortiers dont ils ont besoin.

Un problème connexe de celui des pouzzolanes : la question des *latérites* qui, dures comme meulière, possèdent certaines propriétés très intéressantes et peuvent, en particulier, servir à confectionner des routes. Elles se traitent et se stabilisent extrêmement bien, en se soudant à elles-mêmes. Nombre d'aérodromes de fortune, en Afrique Noire, sont en latérite concassée et roulée. On étudie scientifiquement cette méthode, de façon à pouvoir la généraliser. On expérimente également les latérites pour l'habitat indigène.

Mentionnons encore le problème de la thermo-osmose qui, en Afrique et dans les régions subtropicales, serait responsable d'un phénomène dont les constructions ont parfois à souffrir. Soit un bâtiment édifié à la saison chaude sur une surface sèche. A cet emplacement, il ne va plus y avoir aucune évaporation et l'eau aura tendance à s'accumuler sous le bâtiment. Cette accumulation est d'ailleurs susceptible d'augmenter, l'eau allant des régions chaudes vers les régions les moins chaudes. Si le sol est argileux, l'argile se gonflera et l'on assistera à un soulèvement du bâtiment et à l'apparition de fissures. A Safi, plusieurs édifices ont été ainsi complètement démolis.

∴

Multiplicité et diversité des problèmes... Ajoutons que les deux tiers de l'activité des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics sont consacrés aux essais effectués à titre onéreux par leur clientèle (administrations, entreprises privées...), l'autre tiers étant réservé à la recherche proprement dite, très féconde, comme on voit.

FERNAND LOT.

Alliages anisotropes à trempe magnétique et aimants modernes

L'APPARITION sur le marché mondial des alliages anisotropes à trempe magnétique fut l'événement le plus important de ces dernières années en ce qui concerne la fabrication des aimants. Ces matériaux à hautes performances, connus sous les noms de Ticonal ou Alnico 5 et 6, sont des alliages dans lesquels les qualités magnétiques ont été exaltées dans une direction au détriment des directions perpendiculaires par une opération dont nous exposerons plus loin le principe. On conçoit qu'on ait pu, par cet artifice, parvenir à des résultats largement supérieurs à ceux obtenus jusqu'alors. Mais pour en apprécier toute la portée, il est nécessaire de rappeler brièvement quels sont les facteurs de qualité d'un matériau pour aimant permanent. Nous le ferons dans le cadre d'une esquisse générale des propriétés des substances ferromagnétiques.

Les substances ferromagnétiques. — Les matériaux qui ont des propriétés magnétiques semblables à celles du fer sont dits ferromagnétiques. Les substances ferromagnétiques acquièrent une intensité d'aimantation considérable sous l'influence d'un champ faible. Soit $\vec{I}$ un vecteur qui définit en chaque point l'intensité et le sens de l'aimantation et $\vec{H}$ le champ magnétisant, on écrit :

$$\vec{I} = \chi . \vec{H}. \qquad (1)$$

χ est la *susceptibilité magnétique* de la substance envisagée.

Nous considérerons également le vecteur induction $\vec{B}$ tel que :

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{I}; \qquad (2)$$

μ, défini par :

$$\vec{B} = \mu\vec{H}, \qquad (3)$$

est la *perméabilité magnétique* du matériau. De (1) (2) et (3) on tire la relation :

$$\mu = 1 + 4\pi\chi \qquad (4)$$

qui relie la susceptibilité et la perméabilité magnétique. L'expérience montre que μ et χ dépendent de $\vec{H}$, on ne peut même pas dire que ce sont des fonctions bien définies de $\vec{H}$ car elles sont reliées au passé de l'échantillon. Par exemple pour une valeur donnée de $\vec{H}$, elles n'ont pas la même valeur si le champ a été atteint à partir de valeurs plus petites (champ croissant) ou plus grandes (champ décroissant). Tous les traitements thermiques ou mécaniques antérieurs influent considérablement sur la valeur de μ ou χ pour un corps de constitution chimique donné. Il est donc indispensable, chaque fois que l'on étudie une substance ferromagnétique, de partir d'un état bien déterminé de l'échantillon et de le suivre d'une manière continue au cours de son évolution. Les principales substances ferromagnétiques sont le fer, le cobalt, le nickel, le gado-

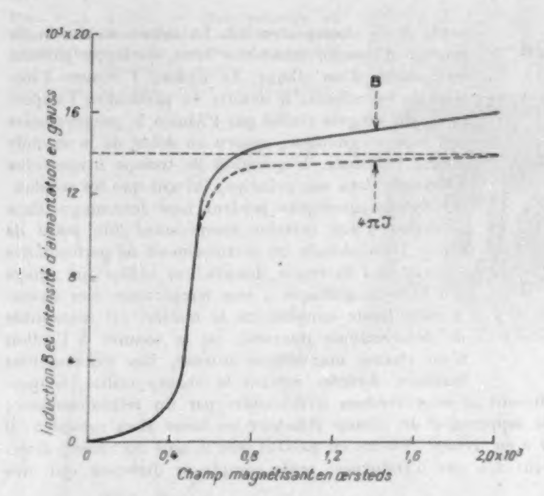


Fig. 1. — *Courbe de première aimantation.*

Dans les champs élevés $I = (B - H)/4\pi$ tend asymptotiquement vers une limite I_s qui est l'intensité d'aimantation à saturation ; B, au contraire, tend vers l'infini avec H. Cette courbe est précisément la courbe de première aimantation de l'Alnico 5.

linium et certains de leurs composés. Certains alliages, comme l'alliage d'Heussler (61,5 pour 100 de cuivre, 23,5 pour 100 de manganèse, 15 pour 100 d'aluminium) sont fortement ferromagnétiques alors que leurs constituants pris séparément ne le sont pas; inversement, certains alliages de fer et manganèse (fer 88 pour 100, manganèse 12 pour 100) ou de fer et de nickel (fer 68 pour 100, nickel 32 pour 100) ne sont pas magnétiques à température ordinaire.

La courbe de première aimantation. — Un matériau magnétique vierge soumis à un champ H croissant s'aimante dans le sens du champ. L'intensité d'aimantation I croît avec H; quand H s'accroît indéfiniment, l'intensité d'aimantation s'accroît de plus en plus lentement et tend vers une limite finie. Il y a *saturation*. L'induction B au contraire croît définitivement. La figure 1 montre l'aspect des courbes représentatives de I et B en fonction de H qui sont dites *courbes de première aimantation*.

Le cycle d'hystérésis. — Si l'intensité du champ magnétisant passe d'abord de zéro à une valeur élevée puis diminue, on observe que la courbe originale n'est pas retracée. L'intensité d'aimantation conserve une valeur supérieure à celle qu'elle avait à la montée. Ce phénomène constitue l'*hystérésis*. Lorsqu'on inverse périodiquement le sens du champ on décrit une courbe fermée symétrique par rapport à l'origine qui est le *cycle d'hystérésis*. La valeur de H pour laquelle $B = 0$ est le *champ coercitif;* la valeur de l'induction pour $H = 0$ est l'*induction rémanente*. La portion des courbes d'hystérésis qui se trouve dans le second quadrant entre les points marqués B_r et H_c est encore appelée *courbe de démagnétisation* (fig. 2).

Cette courbe est particulièrement précieuse pour l'étude des matériaux utilisés dans les aimants permanents. On conçoit en effet que le champ coercitif caractérise bien l'aptitude d'un matériau à conserver son aimantation. Les alliages à champ coercitif élevé, propres de ce fait à la fabrication d'aimants permanents, sont dits *ferromagnétiques durs*. Ils s'opposent aux *ferromagnétiques doux* à faible champ coercitif, incapables de conserver une aimantation permanente. On utilise également comme critère de qualité le *produit d'énergie* obtenu en multipliant les valeurs de B et de H pour un point de la courbe de démagnétisation. Sa variation avec l'induction est représentée sur la partie droite de la figure 3.

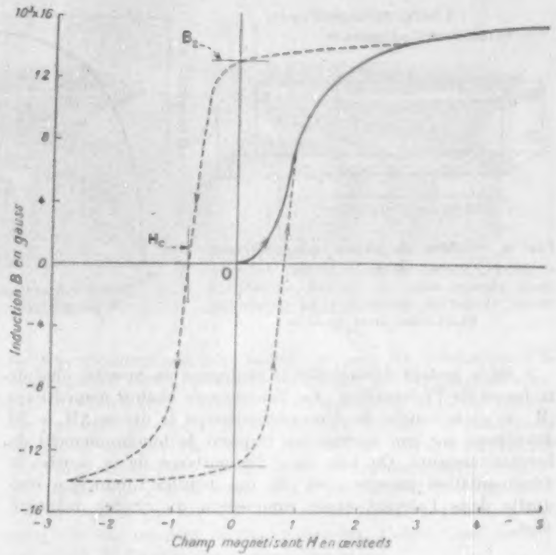


Fig. 2. — *Cycle d'hystérésis.*

La courbe de première aimantation est tracée en trait plein et le cycle en trait interrompu ; on a porté B en ordonnées, ce que font habituellement les industriels ; les études de caractère purement scientifique utilisent plus volontiers I.

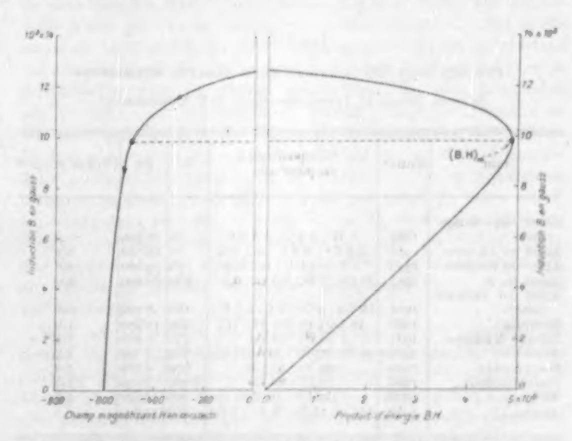


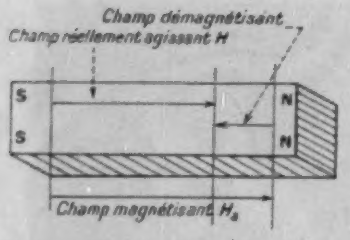
Fig. 3. — *Courbe de démagnétisation* (à gauche) ***et produit d'énergie*** (à droite) ***de l'Alnico 5.***

Champ démagnétisant. — Quand un barreau est placé dans un champ H_a, il s'aimante et ses extrémités portent alors des masses magnétiques qui créent elles-mêmes un champ ΔH en chaque point du barreau. Ce champ est dirigé en sens inverse de H_a et il est appelé pour cette raison *champ démagnétisant*. Le champ réellement agissant H résulte alors du champ H_a et du champ démagnétisant, soit (fig. 4) :

$$H = H_a - \Delta H.$$

Le champ démagnétisant est approximativement proportionnel à l'intensité d'aimantation :

$$\Delta H = N.I = \frac{N}{4\pi}(B - H).$$



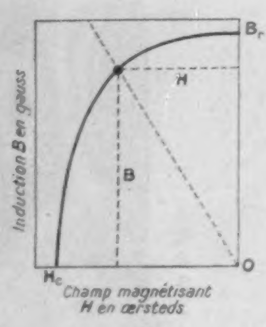


Fig. 4. — *Effet du champ démagnétisant.*
A gauche, schéma montrant le sens des différents champs dans un barreau aimanté. *A droite*, traduction quantitative du phénomène. Explications dans le texte.

N est le *facteur démagnétisant* et dépend au premier chef de la forme de l'échantillon. En l'absence de champ magnétisant ($H_a = 0$) la courbe de démagnétisation et la droite $\Delta H = NI$ définissent par leur intersection le point de fonctionnement du barreau aimanté. On voit donc l'importance de la courbe de désaimantation puisque c'est elle qui définira l'induction résiduelle dans l'aimant après suppression du champ magnétisant.

Qualités d'un matériau magnétique et trempe magnétique. — L'intérêt des constructeurs est évidemment d'obtenir, pour une forme géométrique donnée, une valeur élevée de l'induction résiduelle. Leurs efforts se sont donc portés sur l'accroissement des performances des aciers en induction rémanente et en champ coercitif. La valeur maximale du produit d'énergie caractérise bien, de façon globale, les qualités d'un alliage. Le tableau I résume l'histoire de ces efforts; il montre en particulier l'importance du progrès réalisé par l'Alnico 5, premier acier à trempe magnétique, apparu au début de la seconde guerre mondiale. L'opération de trempe magnétique est simple dans son principe. On sait que les substances ferro-magnétiques perdent leur ferromagnétisme au-dessus d'une certaine température dite *point de Curie*. Pour obtenir un accroissement de performance suivant une direction donnée, on utilise un alliage qui reste magnétique à une température très élevée. A cette haute température la matière est susceptible de déformations internes; on la soumet à l'action d'un champ magnétique intense. Des déformations internes, dirigées suivant le champ utilisé, se produisent et sont rendues irréversibles par un refroidissement; la suppression du champ directeur les laisse alors subsister; il y a eu trempe. Notons en passant que le sens du champ directeur n'a pas d'influence, seule compte sa direction qui crée des tensions suivant un alignement déterminé. L'expérience montre que la trempe magnétique améliore considérablement les qualités de certains alliages suivant la direction du champ directeur utilisé. Pratiquement, comme le montre la figure 5 la courbe caractéristique du Ticonal englobe toutes les courbes caractéristiques des autres aciers et alliages à aimants. Toutefois, dans la direction perpendiculaire au champ appliqué les qualités sont nettement diminuées comme le montre la figure 7, mais cela n'est pas gênant dans la pratique.

Tableau I

Progrès dans les alliages pour aimants permanents

(D'après Bozorth, *Ferromagnetism*, Bell Laboratories).

Nom	Année	Composition en pour 100	H_c	B_r	$(B.H)_m \times 10^{-6}$
Acier au tungstène	1885	6 W; 0,7 C; 0,3 Mn	65	10 500	0,3
Acier au chrome	1916	0,9 Cr; 0,6 C; 0,4 Mn	50	10 000	0,2
Acier au chrome	1916	3,5 Cr; 1 C; 0,4 Mn	65	9 500	0,3
Acier K. S.	1917	36 Co; 7 W; 3,5 Cr; 0,9 C	230	10 000	0,9
Acier au chrome-cobalt	1921	16 Co; 9 Cr; 1 C; 0,3 Mn	180	8 000	0,6
Remalloy	1931	12 Co; 17 Mo (ou W)	250	10 500	1,2
Alliage Mishima	1931	25 Ni; 12 Al	475	7 000	1,4
Alnico 2	1934	12 Co; 17 Ni; 10 Al; 6 Cu	560	7 300	1,7
Magnetoflex	1935	20 Ni; 60 Cu	600	5 800	2,0
Platine-cobalt	1936	77 Pt; 23 Co	3 000	5 000	4,5
Vicalloy	1938	52 Co; 10 V	200	11 500	1,5
Alnico 5	1940	24 Co; 14 Ni; 8 Al; 3 Cu	575	12 500	4,5

Tableau II

Propriétés comparées d'un Alnico isotrope et des Ticonal E et G

(D'après G. Allec, *La Métallurgie*, novembre 1951).

Matériau	Composition chimique moyenne	Induction de saturation	Induction de rémanente	Champ coercitif	B.H × 10^{-6} maximum	Point de curie	Poids spécifique
Alnico 5	20 Ni; 10 Al; 5 Co	11 800	7 000	580	1,50	750°	7,2
Ticonal E	15 Ni; 8 Al; 24 Co; 3 Cu; 1,5 Ti	14 000	11 000	700	3,50	865°	7,3
Ticonal G	14 Ni; 8 Al; 24 Co; 3 Cu	15 000	12 800	600	5	880°	7,4

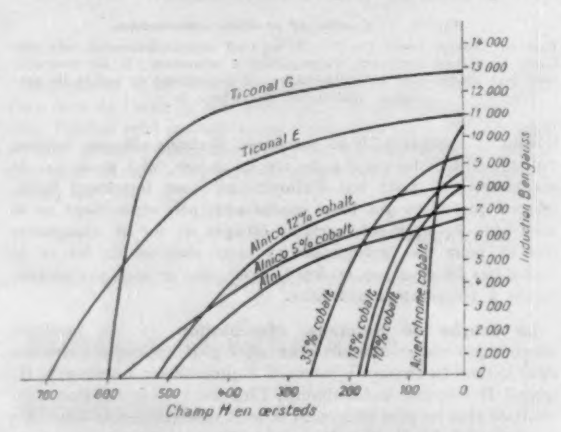


Fig. 5. — *Courbes de démagnétisation des principaux aciers et alliages à aimants.*
Les courbes des Ticonal E et G enveloppent largement toutes les autres.
(D'après G. Allec, *La Métallurgie*, novembre 1951).

Les aciers anisotropes sont fabriqués, dans les pays anglo-saxons, sous les noms d'Alnico 5 et 6 et en France sous le nom de Ticonal. L'Alnico 5 (ou Alcomax en Grande-Bretagne) contient 13,5 pour 100 de nickel, 24 pour 100 de cobalt, 8 pour 100 d'aluminium, 3 pour 100 de cuivre et le reste de fer. Il est refroidi de 1 250° C à 600° C à la vitesse de 1 à 5 degrés par seconde dans un champ magnétique de 3 000 œrsteds. Les propriétés des Ticonal E et G sont résumées dans le tableau II. Une caractéristique importante des aimants à trempe magnétique est la forme carrée de la courbe de démagnétisation. Dans une première portion, presque horizontale, l'induction ne tombe que de 12 500 à 10 000 gauss pour le Ticonal G, puis, à partir d'un facteur de démagnétisation donné, la chute

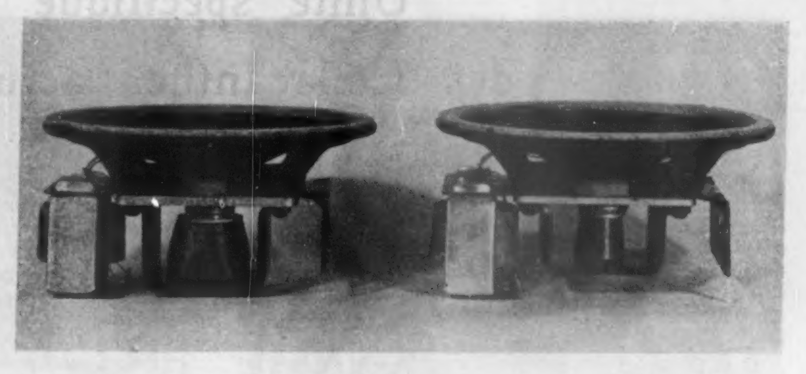


Fig. 6 (à droite). — ***Haut-parleurs de même puissance réalisés avec un aimant nickel-aluminium (à gauche) et un aimant Ticonal (à droite).***
(*Photo Société Audax, cliché La Métallurgie*).

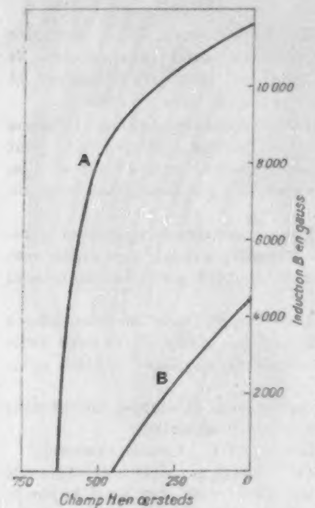


Fig. 7 (ci-contre). — ***Courbes montrant la différence entre les performances de l'Alnico 5 dans la direction du champ directeur qui a été appliqué (A) et dans la direction perpendiculaire (B).***

s'accentue et devient très brutale. Une conception rationnelle de l'aimant est donc nécessaire, qui permet de maintenir l'induction à 10 000 gauss, valeur très élevée par rapport aux 3 à 4 000 gauss habituellement obtenus.

Importance technique et modalités d'emploi des aimants à trempe magnétique. — La figure 6 illustre le gain de poids à puissance égale obtenu par l'emploi du Ticonal dans deux haut-parleurs de T. S. F. équivalents. L'utilisation des nouveaux aciers conduit ainsi à des volumes plus réduits et de là à des prix de revient moins élevés. Il suffira en général d'une section d'aimant deux à trois fois plus faible pour des résultats équivalents. Dans les appareils de mesure du type galvanomètre, l'accroissement de puissance de l'aimant pour des volumes du même ordre conduit à des sensibilités deux ou trois fois supérieures à celle des appareils anciens, ce qui change complètement la classe de l'appareil. D'innombrables applications combinent à la fois l'augmentation de puissance et la réduction de volume : volants magnétiques, moteurs d'essuie-glace ou de climatiseur pour véhicule automobile, plateaux et mandrins magnétiques, etc.

On aurait cependant tort de penser que les alliages utilisés jusqu'à ce jour soient appelés à disparaître devant les alliages à trempe magnétique. Le remplacement des anciens aimants dans certains types d'appareils exigerait une refonte complète qui n'est pas toujours immédiatement possible. Certaines limitations existent d'autre part à l'utilisation de l'aimant à trempe magnétique. Tout d'abord le traitement magnétique n'est facilement applicable qu'aux aimants bipolaires rectilignes ou faiblement incurvés. Pour les aimants multipolaires, l'outillage est très onéreux parce que nécessairement particulier pour chaque forme d'aimant; l'aimant multipolaire reste donc le domaine par excellence des aciers isotropes. Enfin la chute brutale de l'induction signalée plus haut, à partir d'une certaine valeur du facteur N, fait perdre l'essentiel de son intérêt au Ticonal pour certaines applications; on doit alors donner la préférence à un alliage à chute d'induction progressive.

Les alliages Ticonal ont des caractéristiques mécaniques qui les rendent pratiquement inusinables; on peut les tronçonner à la meule mais il est impossible de les fraiser, percer, limer ou tourner. On tourne cette difficulté en les munissant de pièces polaires sur lesquelles on reporte les opérations d'usinage. La fixation de ces pièces polaires est ensuite réalisée par serrage mécanique par vis et écrou, colle polymérisable ou enrobage dans les alliages légers coulés sous pression. On est favorisé à ce point de vue par le fait que ces alliages résistent très bien aux températures élevées; on peut même les enrober d'aluminium malgré son point de fusion relativement élevé.

Théories de l'anisotropie magnétique. — Le phénomène de la trempe magnétique a suscité un vif intérêt parmi les théoriciens engagés dans les problèmes de ferromagnétisme et de structure des solides, mais les bases d'une explication rationnelle n'ont pas encore pu être nettement dégagées. C'est seulement en 1938 qu'Olivier et Shedden montrèrent qu'on obtenait un accroissement de l'induction rémanente de l'Alnico 2 en le refroidissant dans un champ magnétique. Le gain n'excédait pas 20 pour 100; cependant ce travail donna lieu, moins de six mois plus tard, à un brevet de la compagnie hollandaise Philips concernant un alliage qui avait un produit d'énergie deux ou trois fois plus grand de l'Alnico 2. On a rapidement reconnu qu'il était nécessaire d'avoir un point de Curie élevé, supérieur dans tous les cas à 800° C. G. H. Howe a montré que l'induction rémanente croît avec la puissance du champ appliqué jusqu'à ce qu'il atteigne 1 000 œrsteds; le champ coercitif, au contraire, atteint sa valeur maximum pour seulement 100 œrsteds.

Mais on est réduit aux hypothèses en ce qui concerne la nature intime du phénomène. Néel suggère que le matériau contient des particules en forme d'aiguilles, orientées par le champ au cours du traitement. D'autres théories ont été avancées par différents groupes de chercheurs qui toutes supposent l'existence d'hétérogénéités contrôlées par le champ. On peut espérer que le mécanisme de création de l'anisotropie sera élucidé dans un avenir prochain; il touche à la connaissance de l'état solide de la matière, branche extrêmement vivante de la physique moderne et dans laquelle sont engagés tant de chercheurs de talent.

André Laroche.

Un Albatros retrouvé

L'albatros de Steller (*Diomedea albatrus*) avait disparu de l'Océan Pacifique et son existence même était devenue fort problématique. L'ornithologiste japonais Udagawa vient d'annoncer qu'une dizaine de couples de ces grands oiseaux ont nidifié au printemps dernier sur l'île de Torishima, l'une des sept îles d'Izu.

Unité spécifique des Cœlacanthes actuels

Depuis la création, il y a deux ans, par le professeur J. L. B. Smith, du *Malania anjouanæ*, le problème de l'unité ou de la multiplicité des Cœlacanthes actuels n'a cessé de susciter un vif intérêt parmi les zoologistes, un peu troublés d'apprendre que les deux premiers exemplaires capturés de ce grand groupe relique, considéré comme totalement éteint depuis l'époque crétacée, non seulement n'étaient pas spécifiquement semblables, mais même appartenaient à deux genres différents.

On se souvient qu'un premier Cœlacanthe avait été sorti par surprise des eaux du canal de Mozambique en décembre 1938, à la suite d'un coup de filet, au large du petit port sud-africain d'East London. L'exemplaire, quoique en très mauvais état, fut immédiatement reconnu par le professeur J. L. B. Smith comme un authentique Crossoptérygien, et dénommé par lui *Latimeria chalumnæ*.

A la suite de quatorze années d'actives recherches, et au cours d'une odyssée qui suscita un intérêt mondial et des commentaires divers, un second Cœlacanthe, pêché dans les eaux d'Anjouan, île de l'archipel français des Comores, vint en décembre 1952 entre les mains du professeur Smith. Bien que ce spécimen, fort mal traité, fût lui aussi en déplorable condition, le célèbre ichtyologue de Grahamstown n'hésita pas à le considérer comme différent, non seulement spécifiquement, mais encore génériquement, du premier et à lui donner, en l'honneur du premier ministre de son pays, le nom de *Malania anjouanæ* (Smith, 1953).

Lorsqu'un troisième spécimen, en parfait état cette fois, fut capturé en septembre 1953 au large d'Anjouan — à la suite de la mise sur pied aux Iles Comores, par l'Institut de Recherche scientifique de Madagascar, avec le concours le plus dévoué des autorités locales, d'une organisation efficace de pêche et de conservation — je crus devoir émettre (Millot, 1954, pp. 10-11 et 21) certaines réserves concernant la valeur de la plupart des caractères anatomiques différentiels, invoqués par le zoologiste sud-africain pour séparer les deux genres. L'étude de trois nouveaux exemplaires pris dans les eaux de la Grande-Comore (janvier-février 1954) et d'un quatrième dans celles d'Anjouan (octobre 1954) est venue accentuer mes doutes, tout en modifiant certaines de mes premières suppositions.

J'avais espéré pouvoir m'en expliquer avec le professeur Smith au cours d'un récent voyage en Afrique du Sud, mais mon éminent collègue se trouvait, pour plusieurs mois, au loin, en expédition de recherches dans la région des Séchelles, lorsque je pus me rendre à Grahamstown. Grâce à la compréhension des dirigeants du Conseil de recherche scientifique et industrielle (C. S. I. R.) de l'Union sud-africaine, et à l'amabilité des autorités de l'Université de cette charmante ville, j'eus néanmoins l'autorisation d'examiner, avec tout le respect voulu, le *Malania anjouanæ*, et de réfléchir à loisir à son sujet.

De nombreuses demandes et questions ne cessant de m'être posées concernant mon opinion sur la validité de ce dernier genre, je me décide à exposer brièvement ici le problème tel qu'il m'apparaît aujourd'hui, regrettant encore une fois de n'avoir pu m'en entretenir, directement et pièces en mains, avec le professeur Smith.

Il résulte de mes observations, et de celles de mes collaborateurs, les docteurs Anthony et Decerisy, que les sept exemplaires jusqu'alors capturés, ne diffèrent anatomiquement entre eux que par la forme ou le plus ou moins grand développement du prolongement caudal. Toutes les autres différences que l'on peut relever ne sont manifestement que des variations d'ordre individuel, à l'exception de l'absence de la première nageoire dorsale chez le *Malania anjouanæ*, absence dont le caractère de mutilation ne paraît pas pouvoir être contesté et qui de ce fait ne saurait être invoquée dans ce débat.

La clé de la question réside donc exclusivement dans l'analyse du prolongement caudal. Or, sur les sept sujets, celui-ci peut être classé, par développement croissant, en une série où l'on peut schématiquement distinguer non pas deux, mais trois ou quatre types [1].

1° Prolongement pratiquement manquant ou seulement représenté par le secteur axial de l'éventail caudal, sans saillie sensible dans la convexité générale du bord postérieur de celui-ci (C_2, *Malania* de Smith) [2].

2° Prolongement très peu développé, mais incontestable, à forme générale circulaire, faisant une saillie légère mais nette dans la convexité caudale générale (C_3, Anjouan : Millot, 1954, pl. XLVII, XLVIII et L).

3° Prolongement plus ou moins bien développé, faisant dans l'axe de la queue une forte saillie postérieure :

a) à forme générale ovalaire (C_5 et C_6, Grande Comore);

b) contours moins arrondis : forme générale sub-trapézique observée chez C_4 de la Grande Comore et chez C_7 d'Anjouan, avec développement relatif plus grand chez C_4 (Millot, 1954, pl. III et XLIX) que chez C_7, ce dernier formant, à ce point de vue, transition entre C_3 et la série C_4, C_5, C_6, C_7.

C'est certainement à cette troisième catégorie qu'appartient le *Latimeria chalumnæ* (C_1) mais, vu le mauvais état du spécimen aux nageoires effilochées, il est bien difficile de préciser s'il ressortissait du type *a* ou du type *b* ou même d'un type *c* encore un peu différent. Sur le moulage effectué, le prolongement a été arrondi; mais il s'agit là d'une reconstitution dont la probabilité garde un certain caractère d'incertitude.

Les variations précitées sont d'inégale valeur, la différence entre *a* et *b* paraissant contingente et sans grande signification, celles entre 1°, 2° et 3° étant de nature à faire réfléchir davantage. Que faut-il en penser ?

Un premier fait essentiel est que ces variations ne sont nullement comme on aurait pu le croire, et comme j'y avais tout le premier pensé, d'ordre sexuel. En effet, si le sexe de C_1, dont les organes étaient décomposés, n'a pu être reconnu avec certitude, C_2, C_3, C_5, C_6, C_7 sont tous des mâles adultes, et C_3, C_5, C_6, C_7 au moins, en pleine activité reproductrice, alors que C_4 est une femelle immature : or C_2 et C_3 diffèrent nettement de C_5, C_6 et C_7, malgré l'identité de sexe et l'état génital.

Un deuxième fait important est que les différences ne sont pas davantage liées à l'âge ou à la taille : C_5, C_6 et C_7 diffèrent nettement de C_2 et C_3, pourtant adultes comme eux, à peine au contraire de C_4, beaucoup plus petit, encore en croissance et aux organes génitaux non développés.

Faut-il, en conséquence, admettre que les sept spécimens capturés — dont six l'ont été dans les mêmes territoire et habitat et deux d'entre eux C_3 et C_7, à queue cependant non identique, exactement au même gîte et dans les mêmes conditions — doivent être répartis entre trois espèces ou genres distincts de par les variations de leur prolongement caudal ? Je ne le pense décidément pas.

1. Les notations C_1, C_2, C_3, etc., employées dans cet article, désignent les spécimens des Cœlacanthes actuels dans l'ordre chronologique des captures.

2. De l'extrémité postérieure du corps de ce Poisson il n'a jamais été publié jusqu'à présent que la figure de *Nature* (Londres), 1953, p. 100, qui ne permet guère de comparaisons sérieuses : une photographie à la fois plus grande et plus précise de l'éventail caudal serait fort précieuse.

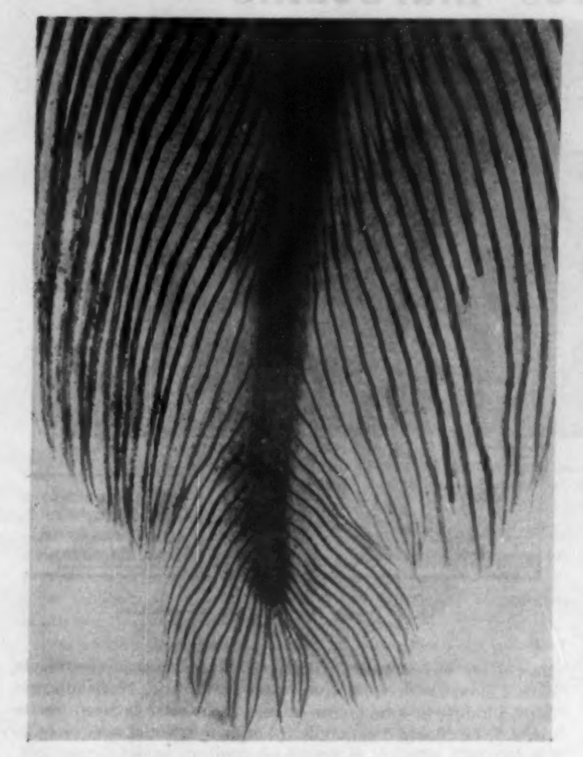


Fig. 1. — *Radiographie de l'extrémité caudale du Cœlacanthe C_6.*
Le prolongement caudal est normal.
(Laboratoire de Physique du Muséum).



Fig. 2. — *Radiographie de l'extrémité caudale du Cœlacanthe C_2.*
L'axe du prolongement caudal est manifestement malformé, ou a été régénéré à la suite d'une brisure à la base.

Les faits conduisent directement à considérer le prolongement caudal comme une formation individuellement très variable, et en outre vraisemblablement fragile, exposée à être mutilée au cours du jeune âge, *pour ces raisons sans valeur taxonomique chez les Cœlacanthes actuels.*

J'appuie ces considérations de deux radiographies représentant les extrémités caudales de C_2 et de C_6 (fig. 1 et 2). Ne sont-elles pas fort instructives à comparer ? L'image de C_6 ne montre-t-elle pas une queue normale, à axe squelettique régulier, celle de C_2 au contraire, et semble-t-il à l'évidence, une queue soit congénitalement malformée, soit ayant été brisée dans le jeune âge et ayant formé un régénérat partiel ?

Si, comme j'en ai la conviction, les découvertes ultérieures viennent confirmer le point de vue exposé ici, le *Malania anjouanæ*, subissant une loi inexorable, devra disparaître de la nomenclature. Je le regretterai personnellement vivement, à la fois pour notre collègue sud-africain, si sympathiquement enthousiaste, dont le jugement initial n'aura pu être maintenu, et parce qu'il aurait été, certes, beaucoup plus intéressant sous l'angle scientifique de disposer de deux genres vivants de Crossoptérygiens. Mais il ne faut pas trop demander à la Nature, qui nous a déjà fait un bien beau cadeau avec ce *Latimeria chalumnæ*, directement surgi des âges les plus reculés de l'histoire des Vertébrés.

*
* *

Je voudrais en terminant émettre un vœu, auquel je ne doute pas que le professeur Smith souscrive volontiers, le vœu que, comme je l'ai fait faire pour mes Cœlacanthes, la queue du *Malania anjouanæ* soit radiographiée en vue de déterminer la structure exacte du squelette axial et l'attache précise des rayons du supplément caudal. Une interprétation beaucoup plus « solide » de cette queue serait alors possible : l'hypothèse d'une malformation ou d'une mutilation éventuelle de ce spécimen pourrait, en particulier, être définitivement confirmée ou infirmée.

J. Millot,
Professeur au Muséum,
Directeur de l'Institut de recherche scientifique de Madagascar.

Références bibliographiques

Millot (J.). — Le troisième Cœlacanthe. *Naturaliste malgache*, Suppl. 1, 50 pl., 1954.
Smith (J. L. B.). — The second Cœlacanth. *Nature*, London, CLXXI, 99-101, 1953.

Cacatoès contre Coléoptères

En Australie, le cacatoès noir était accusé d'occasionner des destructions graves aux jeunes arbrisseaux dans les forêts. Des observations plus précises ont démontré que ces oiseaux s'attaquaient aux larves de Coléoptères Longicornes qui se réfugient sous l'écorce des arbres déjà infestés en la déchirant de leurs becs puissants. Les arbres étaient déjà condamnés, mais les cacatoès auraient contribué à empêcher le parasite de se répandre dans la forêt.

Les phosphates marocains

C'est dans le Maroc atlantique — le « Maroc utile », disait Lyautey —, au pied du versant septentrional des Atlas, que se trouvent des gisements de phosphates de chaux qui figurent parmi les plus riches du monde. Exploités seulement depuis 1921, ils alimentent un trafic qui n'a cessé de grandir. Ils sont aujourd'hui solidement installés au premier plan de la jeune et déjà brillante économie marocaine, dans ce véritable « pays neuf » aux portes africaines de notre Europe vieillie.

Les phosphates d'Afrique du Nord. — La formation des phosphates de chaux résulte de l'accumulation, au fond de golfes maritimes, de débris organiques, particulièrement d'ossements de vertébrés marins. Ces conditions se sont trouvées réalisées en plusieurs endroits de l'Afrique française du Nord, du Maroc atlantique aux confins algéro-tunisiens. En ce qui concerne le Maroc par exemple, c'est à la fin de l'ère secondaire (crétacé) et au début de l'ère tertiaire (éocène) qu'une importante transgression, appelée précisément « mer des phosphates », s'avança entre le plateau ancien de la Meseta au nord (plateau Zaïan) et le rebord du socle saharien au sud. Au fond de ce golfe relativement peu profond se sont déposées les couches de grès meubles, de teinte grise, d'odeur prononcée, qui renferment les phosphates. La surrection des chaînes atlasiques, au milieu de l'ère tertiaire, n'a par la suite que faiblement basculé cet ensemble sédimentaire.

Les gisements marocains se répartissent en deux groupes, de part et d'autre de la vallée de l'Oum-er-Rbia, sur les hautes plaines (400 à 800 m) de la Haute-Chaouïa et des Gantour. Le premier gisement porte le nom de Kouribga, qui est le principal centre d'extraction : il va de Kouribga même à Oued-Zem, Kasba-Tadla et El-Borouj. Le second gisement, plus récemment découvert, et qui n'est que le prolongement du précédent, s'étend dans la région située à l'est de Louis-Gentil. Dans les deux cas, il s'agit d'*apatite* $3(PO_4)_2Ca_3.F(Cl)_2Ca$, c'est-à-dire de phosphate tricalcique combiné à du fluorure ou de chlorure de calcium. La teneur est haute (75 pour 100) à Kouribga, moyenne (70 pour 100) à Louis-Gentil.

Les gisements algéro-tunisiens ont une teneur inférieure, comprise entre 58 et 63 pour 100, atteignant rarement 70 pour 100, et seulement dans les couches les plus profondes, ce qui grève les prix de revient. Ils sont exploités depuis plus longtemps que ceux du Maroc, puisque l'occupation française de ces deux pays est plus ancienne que celle du protectorat chérifien. Ils se trouvent : en Algérie, autour de Tebessa (mines de Tocqueville et du Kouif), reliée à Bône par un chemin de fer électrifié; en Tunisie aux environs de Gafsa-Metlaoui, raccordés à Sousse et Sfax, ainsi que plus au nord près de Kalaa-Djerda.

Les phosphates marocains, déjà avantagés par leur teneur plus élevée, le sont aussi par leur proximité de la mer. L'exploitation y entraîne de moindres frais, les couches étant à peu de profondeur, parfois même à ciel ouvert. Certes, les procédés modernes permettent d' « enrichir » le minerai, opération couramment réalisée aux États-Unis; mais les conditions d'extraction et la nature des phosphates algéro-tunisiens interdisent pratiquement cette transformation, assez onéreuse au surplus. Aussi est-il raisonnable de penser que l'avenir le plus brillant appartient au Maroc dans le domaine de la production phosphatière.

Les usages des phosphates sont nombreux. On connaît surtout leur utilisation en agriculture sous la forme de superphosphates assimilables directement par le sol (on obtient des superphosphates par action de l'acide sulfurique sur le phosphate naturel). D'une façon générale, les engrais phosphatés sont consommés en quantités plus importantes que les engrais azotés et potassiques; ce qui ne peut qu'encourager la production mondiale.



Fig. 1. — *Le Maroc et ses phosphates.*

Mais il est bien d'autres usages moins connus, en pharmacie, dans l'industrie des plastiques, dans la verrerie, la métallurgie, dans l'industrie alimentaire même (ferments, levures, malterie, ...). Le champ d'action des phosphates s'étend sans cesse.

Centres producteurs. — Le gisement des Ouled-Abdoun, couramment appelé gisement de Kouribga, a été découvert en 1912, aux premiers temps du protectorat; mais il n'est entré en exploitation qu'en 1921. A cet effet, l'État marocain, qui se réservait la propriété du sous-sol (dahir du 27 janvier 1920), avait créé un organisme semi-privé, l'Office chérifien des phosphates, dont il finança les débuts (dahir du 7 août 1920), et qui est devenu la puissante société actuelle.

L'O. C. P. commença aussitôt les travaux de construction d'un centre minier à Kouribga même, relié à Casablanca, distant de 130 km, par une voie ferrée étroite du réseau militaire à 0,60 m (ligne de Casablanca à Oued-Zem). Dès le mois de juin 1921, les premiers convois chargés de phosphate arrivaient à la côte. En 1923 la section à voie normale (Casablanca) Sidi-el-Aïdi-Kouribga des Chemins de fer marocains était achevée et ouverte au trafic; cette ligne fut électrifiée en 1927, la première de toute l'Afrique du Nord. Dès lors, elle était en mesure de faire face à un trafic qui allait en augmentant prodigieusement :

1921	33 000 t
1923	224 000 t
1927	1 442 000 t
1930	2 098 000 t

Cette remarquable progression fut interrompue par la crise économique mondiale et en 1939, avec 1 393 000 t, on n'avait pas retrouvé le chiffre maximal de 1930. La reprise, déjà lente, fut une nouvelle fois stoppée net, cette fois par la guerre; l'année 1942 vit le minimum très bas de 302 000 t, par suite de la fermeture presque totale des débouchés extérieurs. Depuis 1943, l'essor a repris : les 2 millions de tonnes ont été dépassés de nouveau en 1948 et l'on enregistra en 1951 le chiffre-record de 3 433 000 t. L'année 1952 a vu une légère régression

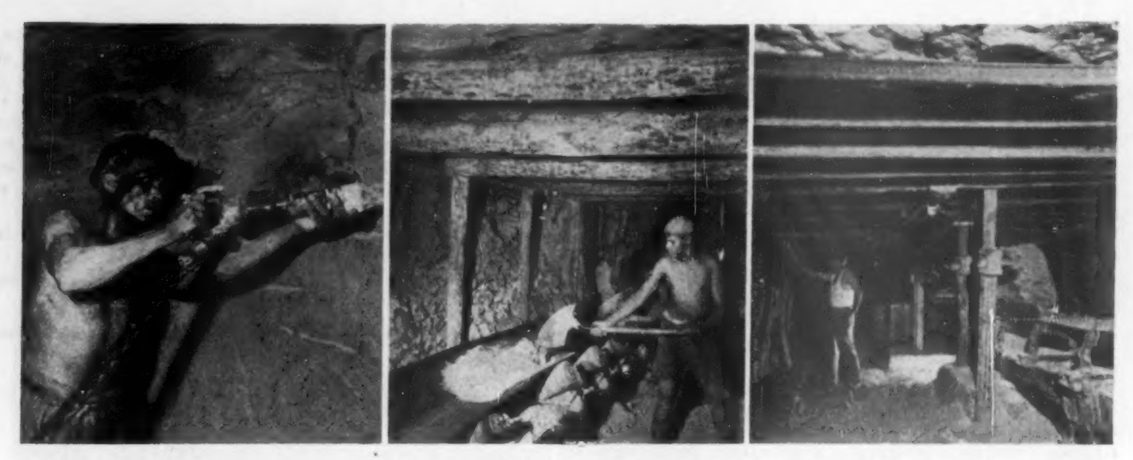


Fig. 2, 3, 4. — *A Kouribga.* *De gauche à droite :* ***Travail au marteau-piqueur ; Chargement du « phosphate-convoyeur » ; Relais du convoyeur et coffret de manœuvre*** (*Photos* G. Le Boyer).

(3 205 000 t), poursuivie en 1953 (3 115 000 t); ce phénomène est explicable par la nécessité d'une « pause » consécutive à un gigantesque effort, explicable aussi par un certain ralentissement de l'activité économique à travers le monde. Néanmoins, le niveau de production est toujours très élevé.

L'extraction dans les cinq postes ou « recettes » du gisement de Kouribga était jusqu'à ces derniers temps entièrement souterraine (fig. 2 à 4) : depuis 1945, plus de 500 km de galeries avaient été creusés. Mais on a ouvert récemment un centre d'extraction à ciel ouvert dans la partie orientale du bassin, à Sidi-Daoui, où 20 millions de tonnes de minerai reposent sous une couche superficielle d'une dizaine de mètres; la livraison récente d'unités modernes d'excavation doit permettre ici un niveau de production de l'ordre de 500 000 t annuellement, dès 1955.

Le centre de Louis-Gentil (fig. 6 et 7) fut créé plus tard, de 1931 à 1933, dans le but de ménager les réserves de phosphates riches de Kouribga et d'alléger le trafic du port de Casablanca. Relié d'abord par Ben Guerir à la ligne Marrakech-Casablanca, Louis-Gentil fit ses exportations par ce dernier port jusqu'en 1936, date où fut ouverte la ligne de Safi. L'extraction ne cessa de croître, atteignant 378 000 t en 1938. Comme à Kouribga, la production, arrêtée par la guerre, reprit avec le débarquement d'Afrique du Nord; sa progression fut ininterrompue jusqu'en 1951, où fut enregistré le chiffre-record de 1 154 000 t. Pour les mêmes raisons qu'à Kouribga, les chiffres des années 1952 et 1953 sont un peu inférieurs (respectivement 1 096 000 et 831 000 t). Il n'existe que deux recettes, la deuxième venant d'ailleurs d'entrer seulement en exploitation.

Les méthodes employées sont évidemment les mêmes à Louis-Gentil et à Kouribga ; les procédés d'extraction sont modernes; le minerai est transporté jusqu'à la sortie de la mine sur des tapis-roulants appelés « phosphate-convoyeurs » (fig. 3, 4 et 6). Après séchage dans des fours spéciaux (fig. 5), le phosphate est transporté par voie ferrée jusqu'au port d'embarquement.

Production totale et place dans le monde. — Au total, la production marocaine de phosphates représente plus de la moitié de celle de l'Afrique du Nord : elle a rattrapé et dépassé la production tunisienne (l'Algérie produit beaucoup moins). Dès 1948, elle arrivait au second rang dans le monde, aussitôt après les États-Unis :

États-Unis	9 246 000 t (gisements de Floride, et, à un moindre titre, du Tennessee et des Montagnes Rocheuses).
Maroc	3 151 000 t (près de 4 millions en 1953).
U. R. S. S.	2 200 000 t (estimation; gisements de la presqu'île de Kola, de la Volga et du Kazakhstan).
Tunisie	1 913 000 t.
Océanie	800 000 t (Nauru et Nouvelle-Zélande, dépendances britanniques; Makatea, possession française ; anciennes îles de la Micronésie japonaise).



Fig. 5. — *Fours rotatifs de séchage à Kouribga.*
(*Photo* A. Gamet).

D'autres producteurs moins importants étaient le Tonkin (Lao-Kay) le Cambodge (Kamphot), le Sénégal (Thiès), les déserts égyptiens, l'Inde. En réalité, il existe de par le monde de multiples gisements de phosphates qui seraient théoriquement exploitables. Ce qui importe, étant donné la faible valeur relative du minerai par rapport à son poids, c'est la rentabilité. Aussi exploite-t-on seulement les gisements intéressants, soit par leur teneur (aux États-Unis, elle est de 75 pour 100, comparable à celle de Kouribga; mais, en U. R. S. S. et dans les îles du Pacifique elle peut atteindre 85 pour 100), soit par leur situation facilitant l'exportation.

Devant l'importante capacité de production du Maroc, une entente de stabilisation avait été cherchée avant la guerre : en 1933, en pleine crise économique, les trois pays d'Afrique du Nord s'étaient entendus pour contingenter et écouler leur production. Cet accord s'était élargi par l'adhésion américaine. La guerre remit tout en question et, de 1940 à 1942, le Maroc dut arrêter presque complètement ses exportations. Certes, depuis 1943, la satisfaction des gros besoins britanniques, puis français a amené la production à un niveau record. Mais le léger fléchissement de 1952-1953 indique les dangers d'une éventuelle surproduction; l'Europe occidentale apparaît en effet comme étant le seul marché pratiquement ouvert aux phosphates marocains, l'Europe orientale étant réservée aux phosphates soviétiques, le reste du monde s'adressant aux États-Unis et à l'Océanie.

La place du Maroc restera sans doute privilégiée; d'une part en raison de la proximité du marché européen, principal consommateur mondial, d'autre part à cause de la richesse des phosphates marocains en acide phosphorique, qui permet d'obtenir des superphosphates à haut titre, les plus demandés à l'heure actuelle. Enfin, les ventes aux utilisateurs du Maghreb même, restées assez limitées jusqu'à présent, pourraient connaître un essor rapide.

Au total, les livraisons, en augmentation régulière sauf pendant la crise et la guerre mondiale, sont à l'origine du développement considérable de l'extraction. Kouribga exporte en moyenne trois fois plus que Louis-Gentil. Voici les chiffres relatifs aux exportations de ces dernières années :

	Kouribga	Louis-Gentil	Total
1951	3 292 527 t	1 239 936 t	4 532 463 t
1952	3 003 642 t	974 787 t	3 978 429 t
1953	3 251 000 t	945 896 t	4 196 896 t

Les exportations. — L'Europe est de loin le principal débouché, absorbant plus de 4 millions de tonnes en 1951, et 3 600 000 en 1952, soit exactement 90 pour 100 des ventes. Le Maroc utilise 100 000 t (2,5 pour 100), le reste du monde près de 300 000 t (7,5 pour 100).

Vers l'Europe. — En 1939, une vingtaine de pays européens étaient clients de l'O. C. P. En 1942, ils restaient trois (Espagne, Portugal, France). A l'heure actuelle, les anciens courants commerciaux ont repris, et dix-huit pays d'Europe achètent du phosphate marocain. Mais l'importance relative de chaque client a varié.

La France arrivait en tête jusqu'en 1926. Elle n'a plus, depuis, repris cette place que momentanément, en 1947 et 1948. De 1949 à 1951, elle s'est maintenue au second rang; mais les derniers chiffres accusent un certain fléchissement des achats.

La Grande-Bretagne, engagée dans un important effort agricole pendant et depuis les hostilités, absorba en 1943, après le débarquement, la presque totalité des exportations de phosphates marocains; elle est encore le principal acheteur.

L'Italie a toujours été également un très bon client de l'Office. Elle occupa même un instant le premier rang, entre 1936 et 1940, et figure actuellement au second.

L'Espagne, longtemps le principal achetur (de 1927 à 1935 et en 1941-1942), a décliné. Elle reprend ses achats réguliers depuis 1951, préoccupée par la nécessité d'augmenter les rendements de son agriculture peu favorisée en général par les sols. Pour 1952, les achats espagnols précèdent ceux de la France, et se placent au 3e rang.

Les autres clients de quelque importance sont les pays du Benelux et le Danemark.

Voici d'ailleurs le tableau des livraisons à l'Europe pour ces dernières années :

	1951	1952
Grande-Bretagne	676 949 t	522 664 t
Italie	536 371 t	474 414 t
Espagne	338 836 t	434 597 t
France	540 017 t	404 135 t
Hollande	300 831 t	311 036 t
Total Europe	4 079 312 t	3 581 000 t

Hors d'Europe. — Le nombre des acheteurs extra-européens, un peu supérieur à l'avant-guerre, oscille entre 7 et 10. C'est l'Union sud-africaine qui, de très loin, arrive régulièrement en tête achetant presqu'autant qu'un client européen : 247 868 t en 1952. Les autres pays acheteurs se partagent la même année un total de 50 000 t; parmi eux, on note le Brésil, le Congo belge, l'Inde; autrefois, on vit même le Japon figurer dans cette liste pour de petites quantités.

L'Australie, qui fut jadis l'un des premiers clients de phosphate marocain, s'est tournée vers les gisements océaniens plus proches. Et les États-Unis qui, en 1943-1944-1945 avaient enlevé des chargements à titre de lest pour leurs navires, ont entièrement cessé cette pratique (n'oublions pas qu'ils sont les premiers producteurs mondiaux).

Les phosphates et l'agriculture marocaine. — La consommation intérieure marocaine demeure faible (2,5 pour 100 des ventes totales). Les agriculteurs, disposant de terres sinon vierges, du moins récemment mises en valeur, n'éprouvent pas le besoin d'employer beaucoup d'engrais chimiques. Cependant le Maroc, s'il n'absorbe que 100 000 t au total, a doublé sa consommation de phosphates entre 1949 et 1952. Cette progression ne se ralentira pas, semble-t-il, car elle est liée au progrès agricole : l'œuvre d'éducation entreprise par les S. M. P. (Secteurs de modernisation du paysannat) contribuera à l'accroissement de la demande.

Jusqu'à présent, une assez forte proportion des superphosphates fabriqués au Maroc a été réexportée. Deux sociétés sont spécialisées dans la préparation des superphosphates et des engrais composés : l'une, la Société chérifienne des engrais et produits chimiques, possède une usine aux Roches-Noires, à Casablanca et traite uniquement des minerais riches de Kouribga (48 000 t en 1951); l'autre, la Société marocaine des engrais pulvérisés, liée à la compagnie tunisienne de l'Hyperphosphate Réno, possède des usines à Port-Lyautey, Ber Réchid et Safi, et a traité la même année 53 000 t, dont 36 000 de phosphates à moyen titre en provenance de Louis-Gentil.

De son côté, l'O. C. P. s'est efforcé de mettre au point des phosphates fins, moulus et ventilés, directement assimilables par le sol, et susceptibles d'être vendus à un prix extrêmement bas aux agriculteurs indigènes. Un phosphate agricole ultra-fin tiré des minerais de Kouribga, a fait son apparition sur le marché dès 1941, en pleine période de guerre, le « Kourifos ».

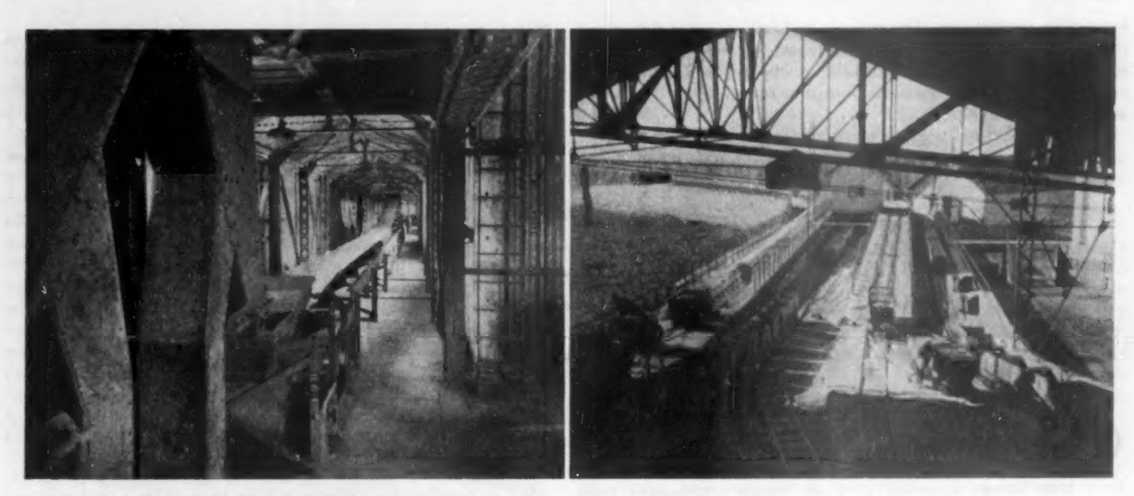


Fig. 6 et 7. — A Louis-Gentil. *A gauche :* ***Le tapis transporteur dans la passerelle d'évacuation sur les silos.*** *A droite :* ***L'arrivée au criblage.***
(*Photo O.C.P.*). (*Photo* A. GAMET).

Celui-ci fut suivi en 1943 du « Calcofos », sous-produit des installations de criblage et de ventilation de Louis-Gentil. Le « Calcofos » renferme en particulier une haute proportion de carbonate de chaux et peut être employé à la fois comme engrais et comme amendement dans les terres décalcifiées, très répandues au Maroc.

Certaines contrées dont les sols conviennent à l'emploi de phosphates naturels non transformés achètent aussi « Kourifos » et « Calcofos » : ce sont l'A. O. F., la Nigeria, l'A. E. F., les Antilles, la Finlande même. L'O. C. P. tente d'atteindre l'Inde et l'Amérique du Sud, deux vastes zones du globe où ces produits seraient particulièrement utiles pour la régénération des sols.

Bilan économique et bilan social. — Les ventes de phosphates contribuent singulièrement à résoudre le problème des devises étrangères indispensables au Maroc. Pour une année moyenne, 1947, où il fut vendu 2 880 000 t de phosphates, il est ainsi rentré, entre autres, 7 millions de dollars, 2 millions et demi de livres sterling, 108 millions de francs belges, 1 700 000 francs suisses, etc. En 1939, les ventes à l'étranger représentaient en valeur 30 pour 100 et en poids 90 pour 100 du total des exportations marocaines.

L'État marocain avait engagé en 1920, 36 millions de francs dans la constitution de l'O. C. P.; or, l'Office avait reversé dès 1933 une somme totale de 714 millions au Trésor chérifien; en 1938, ce chiffre atteignait 1 milliard et demi, soit l'équivalent d'une quarantaine de milliards de nos franc-1955 ! Sans cet appoint providentiel, on peut se demander ce que seraient les Finances du Protectorat.

L'O. C. P. a en même temps consacré, de 1921 à 1938, 360 millions à la création d'installations et 145 millions à la construction du chemin de fer et du port de Safi. Il a édifié le môle des phosphates du port de Casablanca et fait surgir de terre trois centres urbains : Kouribga, Louis-Gentil et André-Delpit.

Les phosphates forment le principal élément de la rubrique Marchandises du trafic des chemins de fer marocains. Ils constituent un fret de retour assuré pour les navires touchant les ports marocains. Enfin, ils entrent pour la plus grosse partie du tonnage (exportations) dans les deux ports de Casablanca et de Safi. Sans le trafic phosphatier les statistiques s'effondreraient brutalement, ainsi qu'on l'a vu en 1941 et 1942. Pour l'année 1951 Casablanca a expédié 3 213 000 t de phosphates sur 874 navires; Safi a expédié 1 203 000 t sur 354 navires. Ces chiffres éloquents constituent des records inégalés dans le passé. Les chiffres correspondant pour 1952 sont : Casablanca, 2 924 000 t sur 865 navires; Safi, 953 000 t sur 301 navires.

Mais il ne faut pas oublier que l'activité née de l'exploitation des phosphates a eu des conséquences humaines qui ne sont pas négligeables. Des agglomérations ont été créées de toutes pièces en pleine solitude; là où ne s'étendait que le *bled* il y a trente ans, on aperçoit aujourd'hui les toits rouges des habitations cachées dans la verdure. Kouribga a 50 000 âmes, Louis-Gentil plus de 10 000. Une « cité » a été construite à Safi, de grands immeubles à Casablanca et à Rabat. A Kouribga par exemple il existe près de 900 logements pour les cadres et 4 000 pour les ouvriers. Les villages indigènes forment chacun une petite « médina » avec mosquée, école coranique, centre médical, etc. L'aménagement des rues, des jardins publics, des bosquets, ainsi que les travaux d'adduction d'eau ont été réalisés entièrement par l'Office des phosphates; il en est de même à Louis-Gentil.

L'assistance médicale, qui étend son rayon sur l'ensemble du personnel, est richement dotée des appareils les plus modernes : électrothérapie, bloc opératoire, et même poumon d'acier. L'ankylostomiase, fréquente au début parmi les mineurs de fond, a disparu. Des maternités européenne et marocaine ont été construites. Des colonies de vacances pour les enfants indigènes sont organisées, notamment dans le Moyen-Atlas, dans la station d'altitude d'Ifrane.

Une importante main-d'œuvre minière s'est ainsi rassemblée : 9 300 ouvriers au centre de Kouribga, 3 000 à celui de Louis-Gentil, ce qui représente au total près de la moitié des ouvriers employés dans tout le Maroc aux industries extractives. Les mineurs de fond sont pour la plupart originaires des tribus berbères de l'Atlas ; beaucoup sont des Chleuh du Sous et de l'Anti-Atlas d'où ils sont chassés par le surpeuplement agricole, important en montagne. Certains travailleurs viennent même du Tafilalet, dans l'extrême Sud, aux confins du Sahara.

* * *

Un nouvel équilibre humain est ainsi en train de s'établir au Maroc, à mesure que se réalise la mise en valeur de richesses

longtemps inexploitées. Des régions déshéritées, où se dressaient il y a seulement 30 ans les tentes éparses de quelques tribus, sont dès à présent méconnaissables; le chemin de fer électrique et les installations modernes occupent le terrain de parcours des anciens bergers nomades.

Ainsi se précipite le mouvement de transformation amorcé au temps de Lyautey et qui tend sous nos yeux à faire de l'antique Maroc, terre des contrastes, un pays singulièrement jeune et actif. Il était juste de marquer le rôle capital de l'exploitation des phosphates dans cette évolution si étonnante par sa rapidité.

PAUL WAGRET.

Les photos qui illustrent cet article nous ont été obligeamment communiquées par l'Office chérifien des phosphates.

LA SICKLÉMIE

anomalie sanguine des Noirs

C'EST en 1910 que l'Américain Herrick nota, chez un Antillais, un type nouveau d'anémie hémolytique caractérisée par la présence d'hématies morphologiquement anormales : leur forme rappelait plus ou moins vaguement celle d'une faucille (*sickle* en anglais) d'où le nom de *sicklémie* donné au phénomène. L'intérêt de la découverte apparut d'emblée et la recherche s'organisa dans les pays anglo-saxons, particulièrement aux États-Unis. Dès 1917, on savait que la déformation des globules rouges n'était observable que dans certaines conditions. En 1924, toujours en Amérique, Sydenstricker déclarait que cette anomalie n'apparaissait que chez les Noirs. Enfin, deux ans plus tard d'autres chercheurs, Lee et Cooley, établirent un distinguo fondamental entre la sicklémie-maladie, accompagnée de signes cliniques, et la sicklémie-état à symptomatologie réduite ou inexistante. Depuis quelques années seulement, les Français contribuent à l'étude de cette dyscrasie, intéressante à plus d'un titre.

On a recouru à divers procédés pour faire apparaître les hématies falciformes, car un examen immédiat au microscope ne révèle rien. Deux conditions préliminaires sont requises : priver les hématies d'oxygène et les maintenir à la température du laboratoire. La méthode d'Emmel est une des plus fréquemment utilisées : on prélève une goutte de sang à l'extrémité d'un doigt préalablement lavé et garrotté durant quelques minutes à sa base. On recueille le sang sur lame, et on recouvre immédiatement d'une lamelle vaselinée ou paraffinée pour éviter tout contact avec l'oxygène de l'air. La présence de globules rouges en forme de croissant se manifeste quelquefois tout de suite, mais il convient d'attendre 24 h au minimum — 48 h selon certains auteurs — pour garantir l'absence de méniscocytes ou de drépanocytes (autres noms donnés aux hématies en faucille). Il est à remarquer qu'oxygénés à nouveau les globules reprennent leur aspect primitif. On a cherché à diminuer le long délai avant examen qu'exige ce protocole; pour ce faire, on a employé des réducteurs : hydrosulfite de soude ou *Bacillus subtilis*. La question se pose cependant de savoir si les résultats obtenus avec ces diverses méthodes sont comparables entre eux.

Au point de vue hématologique, la sicklémie-maladie offre plusieurs particularités, tant de la série rouge que de la série blanche. La primauté revient, bien entendu, à la forme spécifique prise par un nombre variable d'érythrocytes, un certain pourcentage de globules rouges demeurant morphologiquement normaux. Les hématies en faucille se présentent sous de multiples aspects qu'on peut, en gros, ramener à deux : dans le cas le plus fréquent, elles sont étirées avec des extrémités effilées; le croissant typique considéré comme le trait distinctif se rencontre, lui, plus rarement. D'autre part, les éléments non déformés restent isolés : pas de ces empilements en rouleaux observables dans un sang normal. Enfin on note des hématies nucléées — comme dans la maladie de Biermer, par exemple — de l'anisocytose, de la poïkilocytose et de la polychromatophilie [1]. Quant à l'anémie, elle peut revêtir une très grave intensité : le nombre des globules rouges varie entre 1 et 3 millions par millimètre cube, au lieu des 5 millions que renferme en moyenne le sang d'un individu sain.

La série blanche est affectée elle aussi par diverses perturbations. Il y a leucocytose : les globules blancs atteignent jusqu'à 50 000 par millimètre cube (chiffre normal : 6 000 à 8 000); rappelons, à titre de comparaison, que dans certaines formes de leucémie, la leucocytose dépasse parfois le million. C'est la lignée myéloïde qui prolifère : polynucléaires surtout, moins souvent myélocytes, mais dans tous les cas éosinophiles.

Cliniquement, la drépanocytose se manifeste par de l'hémolyse avec son corollaire, l'ictère, par du rhumatisme fébrile, de l'hypertrophie du foie. En outre, les hématies falciformes, incapables de traverser les capillaires, s'y immobilisent et les oblitèrent [2]; cette thrombose arrête la circulation, ce qui entraîne les accidents habituels en semblable occurrence : ischémie et nécrose pouvant amener une issue fatale.

La thérapeutique est encore embryonnaire. On a préconisé l'ablation de la rate; sans doute obtient-on quelques résultats chez un patient précocement splénectomisé. Les signes cliniques, en particulier, sont assez nettement améliorés; en revanche, on constate peu de changements dans la série rouge et dans la série blanche, ainsi que dans le taux d'hémoglobine. Mais la franchise oblige à avouer qu'on ignore le traitement spécifique de cette affection, une des rares maladies devant lesquelles on reste à peu près désarmé.

Le tableau pathologique que nous venons de brosser ne s'applique évidemment pas à la sicklémie-état. Chose curieuse en effet, l'énorme majorité des porteurs de drépanocytes présentent tous les signes d'une santé irréprochable. Si bien qu'on

1. L'*anisocytose* est une anomalie, observée au cours de certaines maladies, qui se traduit par des variations de dimensions des hématies. La *poïkilocytose* est une déformation des hématies accompagnant des anémies graves, et sans rapport avec la sicklémie. La *polychromatophilie* est la faculté qu'acquièrent les globules rouges de se colorer par plusieurs couleurs différentes.

2. Il est probable que, lorsque l'oxygénation sanguine vient à descendre au-dessous d'un certain seuil, les hématies d'un sicklémique peuvent se « falciformiser » *in vivo* en plus ou moins grand nombre. Ce phénomène accompagnerait une hématose défectueuse due à l'hémolyse. Si bien que la drépanocytose constituerait en réalité une anémie — d'étiologie indéterminée — qui susciterait secondairement, en terrain génétiquement sicklémique, l'apparition des drépanocytes avec lesquels elle n'aurait qu'un rapport de cause à effet. Les hématies falciformes seraient dangereuses uniquement par leurs manifestations mécaniques. — Supposer que les drépanocytes potentiels sont à l'origine de l'hémolyse, qui les matérialiserait, c'est faire une pétition de principe ; d'où, ainsi qu'on le verra plus loin, les doutes relatifs à l'identification de la sicklémie à cette forme d'anémie. La plus grande circonspection s'impose à l'égard de tous ces faits dont l'interprétation relève encore du domaine des conjectures.

peut à bon droit se demander s'il existe, comme on l'a cru, une corrélation directe entre la sicklémie et l'anémie hémolytique. Nous en sommes encore réduits aux hypothèses en ce domaine où le seul élément positif dont nous disposions se ramène au nombre élevé de sicklémiques qui s'observe parmi les Noirs atteints d'anémie hémolytique. On ne saurait exclure la possibilité, pour la sicklémie-état, d'entrer dans la catégorie des maladies dites inapparentes, formes bénignes d'affections souvent très graves à l'endroit desquelles certains organismes jouissent d'une immunité congénitale ou acquise. Car il est étrange de constater que le pourcentage d'érythrocytes anormaux ne joue pas de rôle dans le déclenchement des phénomènes morbides : tel individu, avec 80 pour 100 de drépanocytes dans le sang, aura apparemment une santé florissante, alors que tel autre, avec 10 pour 100 seulement, offre un tableau clinique presque désespéré qui nécessite une transfusion d'urgence. Ce fait contribue à appuyer l'hypothèse qui n'établit qu'un rapport indirect, si rapport il y a, entre sicklémie et anémie hémolytique.

Une autre explication relève de la génétique. Nos connaissances sur la sicklémie sont arrivées aujourd'hui à un stade assez avancé pour qu'on sache qu'elle constitue un caractère mendélien dominant transmis par un gène peut-être localisé sur le chromosome portant ceux des groupes sanguins MN. Aussi a-t-on supposé que l'homozygotie, c'est-à-dire le fait que les deux chromosomes homologues portent chacun le gène incriminé, serait responsable de l'anémie à hématies falciformes tandis que l'individu hétérozygote, avec son gène isolé, recevrait uniquement le trait en faucille, décelable à l'examen hématologique, mais sans influence sur l'organisme. Nous connaissons d'autres tares héréditaires, la brachydactylie (genre de malformation des doigts) par exemple, dans lesquelles il semble bien que l'homozygotie pour un gène dominant présente un caractère de gravité que n'a pas l'hétérozygotie.

Une troisième hypothèse enfin, que nous n'avons pas eu l'occasion de rencontrer explicitement formulée, nous paraît aussi plausible que les deux précédentes pour rendre compte du dualisme sicklémie-état/sicklémie-maladie. Elle ne nous entraînera pas, d'ailleurs, hors du domaine de la génétique. On sait que les caractères héréditaires dépendent la plupart du temps de deux gènes : l'un dominant, l'autre récessif. Dans chacun de ces couples, un des gènes correspond à l'état normal alors que son *allélomorphe* n'en est qu'une modification due à un phénomène de mutation. Or, il arrive que le gène mutant soit représenté, non par un type unique, mais par une famille de deux ou plusieurs gènes dont chacun est, bien entendu, un allélomorphe du gène normal. On conçoit que, dans ces conditions, le caractère normal ou pathologique lié à une paire chromosomique donnée variera dans certaines limites selon qu'un individu héritera l'un ou l'autre des gènes d'une série d'allélomorphes multiples. C'est ce qui se produit dans le cas du daltonisme, anomalie de la vision du rouge *ou* du vert; la vision normale de chacune de ces couleurs dépend d'un gène dominant auquel correspondent deux allélomorphes récessifs : en l'absence du gène dominant, l'un entraîne un trouble léger, l'autre un trouble grave de la vision colorée; en outre, le premier domine le second. Rien n'empêche, en inversant les termes, de supposer que le gène dominant pathologique S_2 de la sicklémie-anémie n'est qu'un allélomorphe d'une série de trois; *s*, gène normal, serait récessif par rapport à S_1, responsable de la sicklémie-état, lui-même dominé par S_2. Ainsi, six génotypes différents (*ss*, S_1S_1, S_2S_2, S_2s, S_2S_1, S_1s) se traduiraient par trois phénotypes : état normal (*s*), sicklémie-état (S_1), drépanocytose (S_2). Il ne s'agit là que d'une hypothèse toute gratuite évidemment, rien ne vient la confirmer, mais les deux autres hypothèses signalées plus haut ne reposent pas davantage sur des faits positifs.

La sicklémie est une propriété qui ne se rencontre que chez les Noirs ou chez les Mulâtres. Elle est inexistante parmi les Blancs; les observations, rarissimes, qui semblent contredire le caractère absolu de cette loi ont été faites dans le Bassin méditerranéen ou en Amérique chez des individus pour lesquels on ne pouvait écarter avec certitude l'éventualité d'une ascendance noire. Pas de sicklémie non plus chez les Amérindiens purs; mais elle se manifeste dans les groupes qui ont reçu une infusion de sang nègre.

La proportion des sicklémiques est d'autant moins élevée que les Noirs sont plus métissés. La réciproque n'est pas toujours vraie : parmi les populations exemptes de croisements avec des leucodermes, les pourcentages varient beaucoup. Sans doute le facteur racial joue-t-il, par l'entremise peut-être du groupe sanguin, un rôle qui n'apparaît pas encore clairement. Peut-être aussi les protocoles de recherche n'ont-ils pas tous été rigoureusement identiques; enfin, certains chiffres ont une signification statistique douteuse, vu le nombre restreint de sujets examinés dans diverses ethnies.

Quelques exemples suffiront pour montrer les importantes différences qui s'observent d'un groupe à l'autre. On a trouvé en Gambie 28,3 pour 100 de sicklémiques (pour 69 sujets testés seulement), 22,3 pour 100 en Nigeria, 45 pour 100 dans un groupe pygmoïde, 2 à 28 pour 100 chez les Bantous selon les tribus, 4 pour 100 en Guyane française (pour 102 personnes), 8 pour 100 à la Guadeloupe (3 000 examinés), 5,5 pour 100 à la Martinique (1 000 examinés), 7,5 pour 100 aux États-Unis (plus de 11 000 examinés), 6,8 pour 100 parmi les Pygmées Babinga. En A. O. F., il ressort de l'enquête menée par le docteur Pales, actuellement sous-directeur du Musée de l'Homme, et par le docteur Linhard que 8 pour 100 des 2 300 examinés sont sicklémiques; mais cette moyenne globale résulte d'observations effectuées dans dix-huit groupes différents pour lesquels les chiffres varient de 6 pour 100 à 33,3 pour 100.

La fréquence est sensiblement identique pour les deux sexes. Quant à l'âge, il intervient certainement, quoique les données soient assez contradictoires : ici, la fréquence décroît de l'enfant au vieillard; là, au contraire, les adultes comptent un pourcentage de sicklémiques plus élevé, ce qui semble peu conforme à l'hypothèse logique que la présence de drépanocytes amène une faiblesse du « terrain » : car, rendu plus réceptif aux maladies, le sicklémique serait éliminé plus rapidement que l'individu normal.

D'autres recherches sont nécessaires avant qu'une conclusion ferme se dégage de ces faits. Là aussi, le facteur racial joue peut-être un rôle; au demeurant, l'inégalité des lots d'observations, tant dans le cadre ethnique que dans celui des classes d'âge, contribue à compliquer le problème en rendant incertaine la valeur des statistiques. Toutefois, une remarque s'impose : l'accroissement avec l'âge dans des pays comme la Martinique ou la Guadeloupe peut s'expliquer par le plus grand nombre de métis parmi les jeunes que parmi les gens d'âge mûr.

Bien des questions se posent encore au sujet de cette dyscrasie sanguine à laquelle le médecin, comme l'anthropologue, témoignent aujourd'hui un intérêt soutenu. Elle a pris une place de premier plan en hématologie, science dont l'apport à l'anthropologie ne cesse de gagner en importance. Aux recherches sur les multiples groupes qui voient leur nombre augmenter presque chaque année : classiques (A, B, O), système Rh, M, N, P, S, Kell, Lutheran, Lewis, Duffy; aux rares documents fournis jusqu'ici par la cytologie sanguine, et singulièrement par les leucocytes, vient s'ajouter maintenant l'étude de la sicklémie qui contribuera à enrichir et préciser nos connaissances anthropologiques sur les populations mélanodermes.

Léon Thomas,
Agrégé de l'Université.

Vues nouvelles sur l'ossification et la physiologie des glucides

A propos de l'altération du squelette et de sa régénération, on parle couramment de « déminéralisation » et d' « assimilation du calcium ». Ce point de vue apparaît trop étroit : les travaux récents de M. Paul Fournier, sous-directeur de laboratoire au C.N.R.S., établissent que l'ossification, dont l'utilisation ou l'élimination du calcium ne sont qu'un aspect et un signe, sont sous la dépendance du métabolisme général, en particulier de la physiologie de certains glucides, au premier rang desquels figure le lactose, ou plus précisément l'un de ses constituants, le β-galactose. En même temps, les glucides paraissent se laisser classer en deux catégories : glucides de structure, glucides énergétiques. Dans le présent article, M. Paul Fournier expose la genèse de ces idées entièrement nouvelles, dont on peut espérer qu'elles ouvriront de fécondes recherches en diverses directions.

★

L'os est composé pour les deux tiers de matières minérales dont le constituant essentiel est le phosphate de calcium, pour un tiers d'une matière protéique de composition spéciale, l'osséine. En diverses circonstances physiologiques ou pathologiques, des perturbations dans l'os peuvent être aisément décelées sur le vivant, soit par la radiographie, soit par l'établissement du « bilan calcique ».

Lorsque, à la radiographie, le squelette présente un aspect anormalement transparent, on suppose que cela est dû à la diminution de la teneur en calcium et on parle alors de décalcification ou de « déminéralisation » (fig. 2 et 3). Cette façon de voir semble justifiée par le fait que le bilan calcique est négatif. Ce bilan s'obtient en comparant les quantités de calcium ingérées par le sujet avec celles qu'il élimine dans le même temps dans l'urine et les matières fécales.

Chacun sait que pendant l'allaitement, le squelette de la femelle des Mammifères subit fréquemment une telle « déminéralisation ». La Rate (la femelle du Rat, que l'on tend de plus en plus à écrire la « Ratte », en s'autorisant du latin *Rattus*, et pour éviter toute confusion avec l'organe du même nom), la Ratte, donc, offre à l'étude de cette altération un champ expérimental commode. Elle élève couramment dix petits et, pendant une période d'allaitement de trois semaines, elle fournit par son lait une quantité de principes nutritifs telle que le poids de la portée atteint normalement, au moment du sevrage, le double du poids de la mère. On juge ainsi de l'ampleur du travail physiologique qu'elle accomplit (fig. 1). Mais après 20 jours d'allaitement, le poids des os de la Ratte diminue d'environ 20 pour 100.

Deux équipes de chercheurs, une anglaise et la nôtre, se



Fig. 1. — *Une ratte allaitant ses petits.*
(Collection du Laboratoire de physiologie de la nutrition).

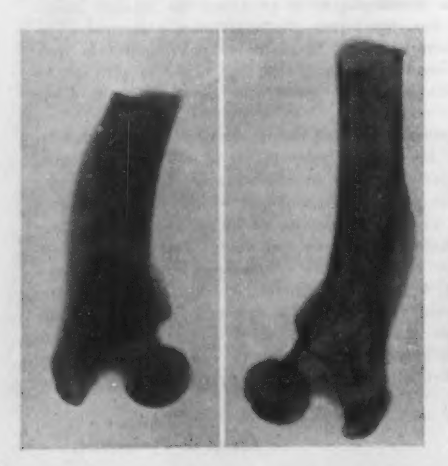




Fig. 2 et 3. — *Radiographies d'os longs de rattes ayant allaité avec ou sans lait dans leur ration.*

A gauche : deux fémurs ; *à droite*, deux humérus. Grossissement : × 4 environ. Le fémur de gauche et l'humérus de gauche sont ceux de rattes ayant allaité en recevant du lait dans leur ration : l'aspect est normal. Le fémur de droite et l'humérus de droite sont ceux de rattes ayant allaité sans recevoir de lait : l'aspect anormalement transparent révèle une profonde « déminéralisation ». Un examen plus attentif montre qu'en réalité c'est le canal médullaire qui s'est agrandi, sa périphérie étant normalement opaque. Comparer avec les figures 3 et 4.

(Collection du Laboratoire de physiologie de la nutrition).

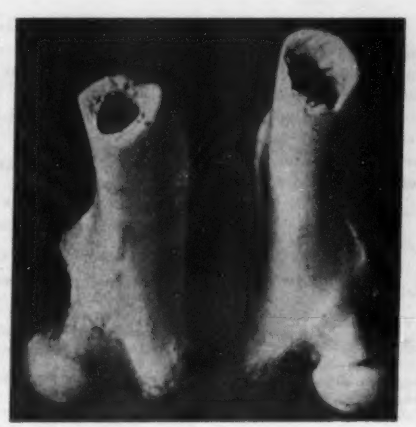




Fig. 4 et 5. — *Os longs de rattes ayant allaité.*

Ce sont les photos des mêmes os dont les figures 2 et 3 présentent les radiographies et disposés dans le même ordre ; on y voit plus nettement encore l'agrandissement du canal médullaire par résorption de l'os, dans le fémur comme dans l'humérus.

(*Photos* J. Leriche).

sont, presque au même moment, préoccupées de préciser la nature de cette énorme perte.

Ellinger, Duckworth et leurs collaborateurs ([1]) — c'est l'équipe anglaise — ont surtout étudié sur des coupes transversales d'os longs, la surface totale de l'os et celle qui correspond au canal médullaire. Par comparaison avec des os similaires d'animaux n'ayant pas allaité, ils s'aperçoivent que la lactation cause un accroissement important de la section de ce canal.

Par des expériences semblables, nous avons confirmé ces résultats et, par le dosage du phosphore et du calcium, nous avons constaté que la lactation avait pour effet de faire perdre aux os à la fois 20 pour 100 de leur poids et 20 pour 100 de leurs matières minérales ([2]). Les deux observations aboutissent à la même conclusion : pendant la lactation, une partie de l'os se résorbe — la partie interne comme Ellinger, Duckworth l'ont montré; mais l'os qui demeure possède la même composition que l'os initial, puisqu'à la perte de poids correspond une perte proportionnelle d'éléments minéraux (fig. 4 et 5).

Le lait, aliment protecteur du squelette de la femelle allaitante. — La constatation d'une perte importante en calcium, connue depuis longtemps, a naturellement conduit à l'administration à l'animal de quantités parfois massives de cet élément. Mais en vain. Aussi avait-on abouti à cette conception pessimiste d'un prélèvement osseux de lactation, physiologique, inévitable.

Le fait qu'un tel prélèvement correspond, non à proprement parler à une déminéralisation, mais à une résorption, nous a très vite amené à faire, relativement à la physiologie de l'os, une hypothèse nouvelle.

Puisqu'il y a résorption de l'os, puisque le calcium est impuissant à prévenir ce phénomène, c'est peut-être que cet élément ne joue pas, en physiologie osseuse, le rôle primordial qui lui est attribué jusqu'ici. Qui nous prouve que ce n'est pas la matière protéique de l'os dont le métabolisme est troublé du fait de la lactation ? S'il en était ainsi, la trame protéique disparaissant, il faudrait bien que son imprégnation minérale disparaisse aussi ([3]).

Il fallait avant tout réussir à prévenir l'altération du squelette. La première idée qui venait naturellement à l'esprit était de donner du lait aux rattes en lactation.

Dès la naissance des petits, des femelles sont réparties en deux lots, chacun d'eux recevant un régime alimentaire différent. Au premier lot est administré un régime ordinaire, du type de ceux que nous utilisions au cours des travaux précédents, régime à base de farine de blé, de caséine et de beurre. Le régime des animaux du second lot est à base de lait ([4]). Mais ces deux régimes sont aussi identiques que possible du point de vue de leur teneur en principes énergétiques, minéraux et vitaminiques; seule la nature des aliments qui les composent diffère. Comme nous l'avions observé antérieurement, les os des femelles qui allaitent pendant qu'elles reçoivent le régime ordinaire sont profondément affectés. Cependant, le squelette des rattes allaitantes nourries au lait ne subissait pas d'altération (fig. 2 à 5 et tableau I).

Tableau I

Moyennes des poids des os longs de rattes, ayant allaité ou non, au régime ordinaire ou lacté

(D'après P. Fournier, H. Susbielle et A. Bourdeau, *J. de Physiologie*, 1953, **45**, 655).

Par comparaison avec le poids des os des témoins (lot T), les os des rattes allaitantes au régime ordinaire (lot I) ont perdu près de 20 pour 100 de leur poids, tandis que les os des rattes au régime lacté (lot II) n'ont pratiquement pas cédé de poids.

Lots	Régime	Poids des os (en mg)			
		Fémurs	Tibias	Humérus	Totaux
T (témoins non allaitants).	Ordinaire	609	456	306	1 371
I (rattes allaitantes) . .	Ordinaire	495	394	246	1 135
II (rattes allaitantes) . .	Lacté	594	442	293	1 329

Le lactose, sucre de lait, sucre de l'os. — Comment expliquer l'effet protecteur du lait à l'égard du squelette ? Une idée classique s'offrait à nous : dans le lait, le calcium existerait sous une forme particulièrement assimilable. Mais la comparaison de la constitution de nos deux régimes, l'ordinaire et le lacté, suggérait une hypothèse autrement séduisante. Dans ce régime ordinaire, il y a de la caséine, protide du lait, du beurre, lipide du lait. Un seul constituant important, le lactose, ou sucre de lait, est présent dans le régime lacté, absent dans l'autre.

Un rapide sondage bibliographique devait nous confirmer l'intérêt du lactose. Dès 1923, des chercheurs américains avaient vu que le lactose prévient les crises de tétanie qui, sans ce glucide, ne manquent pas de se produire lorsqu'on extirpe les glandes parathyroïdes. Or cette tétanie s'accompagne aussi d'une chute profonde du taux du calcium dans le sang. D'au-

1. *British Journ. of Nutrition*, 1952, **6**, 235.
2. P. Fournier et H. Susbielle, *Journal de Physiologie*, 1953, **45**, 517.
3. P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1954, **238**, 270.
4. P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1954, **238**, 391.

tres auteurs avaient révélé que le calcium est mieux absorbé et mieux retenu par l'animal normal en croissance, ou par l'animal rachitique, lorsque leur régime contient du lactose.

Nous avons alors constitué deux régimes absolument identiques, à cela près que 12 pour 100 de l'amidon du premier étaient remplacés dans le second par 12 pour 100 de lactose (1). Et cette petite modification suffisait à équilibrer le bilan calcique de lactation et à préserver de toute atteinte les os des femelles allaitantes (tableau II).

TABLEAU II

EFFETS DU LACTOSE SUR LE BILAN CALCIQUE DE LA RATTE ALLAITANTE

(D'après P. FOURNIER, Y. DUPUIS, H. SUSBIELLE et A. BOURDEAU, *C. R. Soc. Biol.*, 1954, **148**, 265).

La substitution de 12 pour 100 de lactose à une proportion équivalente d'amidon a radicalement changé l'allure du bilan calcique : en profond déséquilibre négatif pour le régime ordinaire (lot I), il devient légèrement positif du fait de la présence de lactose (lot II).

Lots et rattes	Nombre de petits	Poids des portées au sevrage	Calcium absorbé (en mg)	Calcium éliminé (en mg)	Bilan calcique (en mg)
I. *Régime ordinaire.*					
1.	8	368 g	2 012	2 333	— 321
2.	9	339 g	1 616	1 900	— 284
3.	9	381 g	2 068	2 100	— 32
4.	8	316 g	1 952	2 144	— 192
5.	9	331 g	1 965	2 311	— 346
6.	11	406 g	1 879	2 267	— 384
7.	7	262 g	1 289	1 567	— 278
8.	6	236 g	1 502	1 667	— 165
Moyennes . .	8,4	330 g	1 785	2 036	— 251
II. *Régime lactosé.*					
A	8	294 g	2 412	2 422	— 10
B.	6	233 g	1 551	1 467	+ 84
C.	10	325 g	2 109	2 044	+ 65
D	9	356 g	2 220	2 178	+ 42
E.	10	345 g	2 176	2 178	— 2
F.	9	346 g	2 147	2 200	— 53
G	7	287 g	1 781	1 778	+ 3
Moyennes . .	8,4	312 g	2 056	2 038	+ 18

Pourquoi le lactose protège le squelette. — On pouvait supposer, très classiquement, que l'ingestion de lactose conduit à des fermentations intestinales, que ces fermentations produisent une acidification, que cette acidification favorise l'absorption du calcium et qu'ainsi l'animal compense son déficit calcique. Mais c'était dès lors renoncer à notre hypothèse de départ, selon laquelle la perturbation osseuse avait son origine dans l'utilisation protidique et non calcique. Nous verrons d'ailleurs plus loin d'autres raisons d'écarter l'intervention de la flore intestinale.

Nous avons alors soumis le lactose à un interrogatoire serré. Le lactose est un diholoside formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose (fig. 6). Laquelle de ces deux molécules est responsable de l'effet d'épargne sur l'os ? Ce ne peut être le glucose puisque nos régimes contenaient toujours de grandes quantités d'amidon, lequel est hydrolysé puis absorbé à l'état de glucose. Et ces régimes fortement amylacés étaient bien incapables, sans lactose, de protéger le squelette pendant l'allaitement. Donc, seul le galactose devait être soupçonné.

Délaissant alors l'usage des femelles allaitantes, qui nécessite le sacrifice des portées entières pour établir un bilan complet, nous avons étudié le bilan calcique du rat en croissance : ici encore, à raison de 12 pour 100 du régime, le lactose permet une utilisation du calcium très supérieure à celle que manifeste un régime ordinaire à base d'amidon (tableau III).

TABLEAU III

INFLUENCE DE LA NATURE DU GLUCIDE INGÉRÉ SUR L'UTILISATION DU CALCIUM

(D'après P. FOURNIER, *C. R. Ac. Sc.*, 1954, **239**, 718).

Les rats, dont le régime contient, comme source de glucide, de l'amidon, seul ou complété de saccharose ou de glucose, n'utilisent, en moyenne, que 35 pour 100 du calcium qu'ils ingèrent. L'introduction de lactose ou de d-xylose double l'utilisation calcique (en moyenne 70 pour 100). Notons que près de la moitié du d-xylose n'est pas utilisé.

Lot	Régime	Coefficient d'utilisation	
		Calcium	Glucide
I.	Témoin (amidon)	35,2 pour 100	100 pour 100
II.	Lactose 12 pour 100	68 »	93 »
III	Saccharose 12 »	37 »	100 »
IV	*d*-Xylose 15 »	72 »	58 »
V.	Glucose 20 »	33,6 »	98,5 »

Afin de savoir si cet effet revenait à la présence de galactose dans la molécule de lactose, nous avons administré à des rats un régime à base d'amidon, à d'autres rats ce même régime où simplement 6 pour 100 d'amidon étaient remplacés par 6 pour 100 de galactose. Rappelons qu'en poids de galactose, 12 g de lactose ou 6 g de galactose sont sensiblement équivalents. Mais ce régime à 6 pour 100 de galactose devait se révéler beaucoup moins actif que le régime à 12 pour 100 de lactose.

Nous avons recherché les causes de cet échec dans l'étude des formes que revêt le galactose, dans le lactose d'une part, dans le galactose du chimiste d'autre part.

Lorsqu'on met un glucide simple en solution, il se produit un phénomène connu sous le nom de mutarotation. Le pouvoir rotatoire de la solution varie sans cesse jusqu'à l'obtention d'une valeur fixe, caractéristique de ce glucide. Selon l'origine de l'échantillon du même glucide auquel on s'adresse, la valeur fixe est obtenue, soit par l'augmentation, soit par la diminution du pouvoir rotatoire. Ces faits indiquent que ce glucide existe au moins sous deux formes isomériques, α et β, le pouvoir

CHOH — HCOH — HOCH — HC — HC — CH_2OH ; O
glucose

CH — HCOH — HOCH — HOCH — HC — CH_2OH ; O
β-galactose

Fig. 6. — Formule développée du lactose, montrant que le galactose y est engagé sous sa forme β.

rotatoire devenant constant lorsque, en solution, un état d'équilibre s'établit entre les deux formes. Ces isomères α et β diffèrent l'un de l'autre par la position des radicaux de la fonction aldéhydique (fig. 7).

Dans le lactose, la fonction aldéhydique du galactose, fonction par laquelle se fait l'union avec la molécule du glucose, se trouve, du fait de cette union, engagée sous une forme β.

1. P. FOURNIER, *C. R. Acad. Sc.*, 1954, **238**, 509.

Fig. 7. — *Formules développées, planes en haut et stériques en bas, des formes isomériques α et β du galactose.*
Les deux isomères diffèrent par les positions respectives de H et de OH sur le premier carbone.

Fig. 8. — *Formules stériques de l'amidon et de la cellulose, montrant que l'amidon est un α-glucoside, tandis que la cellulose appartient à la série β.*

On dit que le lactose est un β-galactoside et c'est du β-galactose qui est libéré (fig. 6) et absorbé du fait de l'acte digestif. Tout autrement se trouve le galactose en solution, puisqu'on y a reconnu l'existence de trois, peut-être de quatre formes isomériques.

Si c'est au β-galactose que le lactose doit son effet remarquable sur l'os, il faut, pour obtenir le même effet de la part du galactose du chimiste, en donner à nos animaux beaucoup plus que nous ne le faisions.

En administrant, non plus un régime renfermant 6 pour 100 de galactose, mais — puisqu'il existe trois ou quatre formes de ce glucide — un régime à 20 pour 100 de galactose, nous avons aussitôt retrouvé le même accroissement dans l'utilisation calcique que nous obtenions avec le lactose.

C'est donc bien le β-galactose qui est favorable à l'ossification et le β-galactose seul car, alors que le lactose est complètement utilisé par l'organisme de nos rats, le galactose multiforme du chimiste est rejeté par l'urine dans une proportion voisine de 50 pour 100, ce qui, vraisemblablement, correspond à l'inutilisation et au rejet de la forme α [1].

Glucides énergétiques et glucides de structure. —

Ces résultats encourageaient à rechercher si d'autres glucides agissent aussi bien sur l'ossification que le lactose et le galactose. Un premier essai s'imposait, celui du *d*-xylose, pentose très répandu dans le règne végétal.

Le galactose et le *d*-xylose possèdent une certaine analogie

1. P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1954, **239**, 304.

Fig. 9. — *Formules développées linéaires de divers glucides très actifs sur l'utilisation du calcium.*
On remarque la parenté structurale entre le galactose et le d-xylose. Chacune des deux formes *d* et *l* d'un même glucide est l'image de l'autre dans un miroir.

de structure (fig. 9). Ces deux glucides administrés à haute dose ont la propriété fâcheuse de provoquer la cataracte. N'auraient-ils pas aussi, en commun, des qualités bénéfiques ?

Par le truchement de nos jeunes bêtes, le *d*-xylose se révélait magnifiquement actif sur l'utilisation du calcium, preuve d'un effet favorable à l'édification de l'os. Car ce calcium, à nos yeux détrôné, n'en demeure pas moins l'indicateur précieux de la condition osseuse.

La parenté structurale entre le galactose et le *d*-xylose suffit-elle à expliquer leurs propriétés physiologiques communes ? Pour le savoir nous avons expérimenté au moyen de divers autres pentoses : *d*-xylose, *d*- et *l*-arabinoses (fig. 9). A notre grande surprise, tous se révélaient très actifs [1].

Un moment décontenancé par l'abondance de ces résultats heureux, nous avons été conduit à refaire d'autres expériences au moyen de tous les glucides dont nous pouvions disposer (voir à titre d'exemple de ces expériences le tableau III). Nous obtenions alors un classement des glucides en deux catégories nettement tranchées.

Un premier groupe de glucides se révélaient très peu actifs pour l'utilisation du calcium. C'est celui des glucides physiologiquement bien connus : amidon, maltose, glucose, lévulose, saccharose. C'est le groupe des glucides énergétiques, pourvoyeurs de glycogène ; c'est la série des glucides aisément fermentescibles, dont l'étude est bien avancée.

Le second groupe de glucides, très actifs sur l'utilisation du calcium, comprend le lactose, le galactose, les *d*- et *l*-xyloses, les *d*- et *l*-arabinoses. Leur signification physiologique était jusqu'ici mal connue. Ainsi le *d*-xylose avait fait l'objet de plusieurs études qui avaient montré que ce glucide n'est utilisé que par un nombre limité d'espèces bactériennes, qu'il ne fermente pas par la levure, qu'il ne fournit pas de glycogène à l'organisme animal, qu'à haute dose il est toxique. A quoi répondait donc l'existence d'un glucide si démuni de qualités ?

Du fait de leur action favorable à l'ossification, nous étions conduit à considérer les membres de ce second groupe comme des *glucides de structure*. Une telle conception provenait uniquement d'observations enregistrées sur l'animal.

Curieusement la plupart de ces glucides de structure sont aussi des constituants structuraux des membranes végétales puisque, condensés sous forme de galactanes, de xylanes et d'arabanes, ils participent abondamment à la constitution des cellulosanes, des hémicelluloses et des matières pectiques.

Une objection, en apparence très grave, contre cette généralisation provient du fait que la cellulose est un glucosane et qu'une telle dépendance à l'égard du glucose nous interdirait de ranger la cellulose parmi les glucides de structure.

Pour répondre à une telle objection, il n'est que de faire un

1. P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1954, **239**, 718.

retour en arrière. Dans le cas du galactose (du *d*-xylose également), seule la forme β possède un rôle structural.

Il y a là une indication précieuse qui tend à prouver que parfois seule l'une des formes isomériques d'un même glucide est utilisable par l'organisme. De tels faits montrent que l'appartenance de glucides à des séries isomériques différentes peut leur conférer des significations opposées. Or, c'est précisément ce cas que nous trouvons lorsque nous comparons la constitution de l'amidon à celle de la cellulose. L'amidon est de la série α, la cellulose de la série β; le rapprochement de ces deux glucides d'après l'identité de leur produit d'hydrolyse, le glucose, n'est à notre avis qu'un mirage (fig. 8). En fait, physiologiquement, ces glucides sont certainement aussi différents que le sont l'une de l'autre les deux formes isomériques du galactose.

Or, il se trouve que les composés structuraux les plus répandus et les mieux connus (cellulose et xylanes des végétaux, chitine des Arthropodes) sont justement de la forme β.

On est ainsi conduit à imaginer qu'il existe un mécanisme biochimique commun qui préside à la formation des tissus de structure des êtres vivants. Une telle hypothèse, dont on peut espérer une grande fécondité, ne pouvait évidemment se présenter d'elle-même à l'esprit en considérant l'aspect et la composition si différente d'un os, d'un copeau de bois et d'une carapace d'insecte.

Formulée à la suite d'une longue série d'expériences, est-elle invraisemblable ? Certainement pas si l'on songe à l'unité fondamentale qui s'est dégagée dans d'autres domaines, celui de l'énergie, celui de la division cellulaire par exemple.

Preuves de l'action métabolique des glucides de structure. — L'hypothèse d'une action du lactose par l'intermédiaire d'une acidification fermentaire du milieu intestinal pouvait conserver des suffrages puisque, effectivement, le lactose est un glucide éminemment fermentescible.

Il se trouve que, parmi les glucides de structure, qui tous manifestent leur action favorable à l'os en améliorant l'utilisation du calcium de la ration, l'un d'eux, le *l*-xylose tient une place à part. Le lactose, le galactose, le *d*-xylose, le *l*-arabinose, sont tous abondamment répandus dans la nature. Le *d*-arabinose y a été décelé, quoique rarement. Le *l*-xylose, création du chimiste, est un produit de synthèse.

Il était tentant de savoir si la flore intestinale pouvait utiliser le *l*-xylose. Pour examiner ce point, un bouillon de culture de type ordinaire est additionné de l'un des glucides suivants : glucose, maltose, saccharose, lactose, galactose, *d*- ou *l*-xylose, *d*- ou *l*-arabinose. Ces milieux préparés pour être utilisés en aérobiose ou en anaérobiose sont ensemencés au moyen du contenu du cæcum ou du gros intestin de rats tués au moment de l'ensemencement. Après 24 h à l'étuve à 37°, les glucides sont dosés dans les différents milieux. Sept des neuf glucides disparaissent totalement. Le *d*-arabinose est peu attaqué. Quant au *l*-xylose, malgré les variantes apportées aux conditions expérimentales, jamais nous n'avons pu déceler son utilisation par la flore intestinale [1].

Le *l*-xylose disparaît dans l'organisme du rat. Il ne peut agir par l'intermédiaire des fermentations intestinales acidifiantes puisque la flore intestinale ne l'utilise pas. C'est bien à l'utilisation de ce glucide à l'intérieur de l'organisme qu'il faut rapporter son effet sur l'os. Il devient extrêmement vraisemblable que le mode d'action des autres glucides de structure est analogue à celui du *l*-xylose.

En faveur de l'existence d'un mode d'utilisation particulier au lactose, conception toute nouvelle dans la physiologie des glucides où, sans trêve, on creuse la voie métabolique du glucose sans songer assez qu'il peut en exister d'autres, les arguments ne manquent pas.

Dans le lait, en particulier dans le lait de femme, le lactose est l'élément pondéralement dominant. Et c'était singulièrement rabaisser le rôle du seul glucide de la période de croissance et d'ossification intenses que de lui accorder un certain intérêt intestinal. L'élaboration par la mère d'un glucide si particulier n'aurait-elle d'autre signification que de favoriser le développement de quelques espèces bactériennes dans l'intestin du nourrisson ? Irait-on supposer alors que le lait contient de la caséine pour que plus tard ce même nourrisson puisse avoir sa carrosserie en matières plastiques ?

Par ailleurs, les travaux de Cori ont montré que le glucide qui franchit le plus aisément la barrière intestinale est le galactose. Comment, pour ce glucide, pourrait-on rapporter l'effet sur l'ossification à des fermentations intestinales qui ne pourraient se produire qu'en aval des régions où ce glucide est si aisément absorbé ?

Mais des arguments ne valent pas une preuve et la non-fermentescibilité du *l*-xylose en est une qui ne permet plus de rattacher l'amélioration de la condition osseuse à des fermentations intestinales. C'est bien, en définitive, l'os qui télécommande l'absorption intestinale du calcium.

Degré d'hétérotrophie comparé du Mammifère et du microorganisme. — Les faits expérimentaux précédents relatifs à la possibilité, pour le rat, d'utiliser le *l*-xylose, alors que la population bactérienne de l'intestin ne fait pas fermenter ce glucide, nous conduit à la discussion du degré d'hétérotrophie comparé du Mammifère et du microorganisme.

Il est classique d'affirmer que l'équipement enzymatique et les facultés fermentaires des bactéries sont beaucoup plus puissants que ceux dont dispose l'animal, il n'est que d'ouvrir un traité de Microbiologie pour se convaincre aussitôt, à l'énumération des nombreuses fermentations et des composés si variés auxquels elles conduisent, que les possibilités métaboliques du monde bactérien sont réellement considérables.

Pourtant, dans l'un des domaines métaboliques capitaux, celui de l'utilisation des glucides, l'animal supérieur l'emporte ainsi, non seulement sur une espèce bactérienne, mais sur l'ensemble de la flore intestinale. Cette capacité d'utiliser le *l*-xylose suppose l'existence, chez l'animal, d'enzymes particuliers que la plupart des bactéries ne possèdent pas. Et il est intéressant de rapprocher les deux faits suivants : d'une part, l'absence d'éléments structuraux chez les bactéries, et, d'autre part, leur incapacité, faute d'enzymes appropriés, d'utiliser certains glucides de structure. Ce rapprochement indique assez qu'il serait important de connaître les modalités de l'utilisation du *l*-xylose par l'animal, et d'étudier le problème de l'utilisation de ce glucide dans la série des êtres vivants.

Conception nouvelle du besoin calcique. — En 1923, L. Randoin et H. Simonnet montraient que l'utilisation des glucides dépend de la teneur en vitamine B de la ration. De ces observations devait découler leur théorie de l'équilibre alimentaire, facteur d'équilibre fonctionnel. Cette théorie est la base de la Diététique actuelle.

Nous venons de développer notre conception de la physiologie de l'os, selon laquelle, en définitive, la fixation du calcium est subordonnée à l'utilisation par les ostéoblastes de principes énergétiques.

Le concours de ces deux théories conduisait à rechercher s'il n'existait pas une relation fonctionnelle étroite entre les principes énergétiques et le calcium de la ration.

Un régime ordinaire, peu protidique, composé d'amidon, d'huile, de caséine, de levure et d'un mélange salin, est administré à des rats divisés en deux lots.

Dans une première période, les rats du premier lot, recevant

1. P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1955, **240**, 115.

Fig. 10. — *Batterie de dispositifs permettant de recueillir séparément les déjections liquides et solides des animaux en expérience.*

Adaptation du dispositif de M. Chevillard, réalisée au Laboratoire de physiologie de la nutrition du C.N.R.S.

(*Collection du Laboratoire*).

le régime à volonté, en ingèrent 8 g par jour. Ceux du lot 2 n'en reçoivent que 5 g. Après dix jours d'un tel traitement, tous les animaux sont remis pendant deux jours au régime d'élevage; puis on inverse les lots, c'est-à-dire que les rats du lot 1 sont limités à 5 g par jour, tandis que ceux du lot 2 ingèrent à volonté le régime, soit environ 8 g. Chaque jour, on détermine la quantité de calcium ingérée et la quantité de cet élément éliminée d'une part dans les matières fécales, d'autre part dans l'urine (fig. 10). Les résultats obtenus servent au calcul de la quantité journalière de calcium retenu et du coefficient d'utilisation du calcium, rapport de la quantité fixée à la quantité ingérée.

Pour chacune des deux périodes, on distingue nettement deux

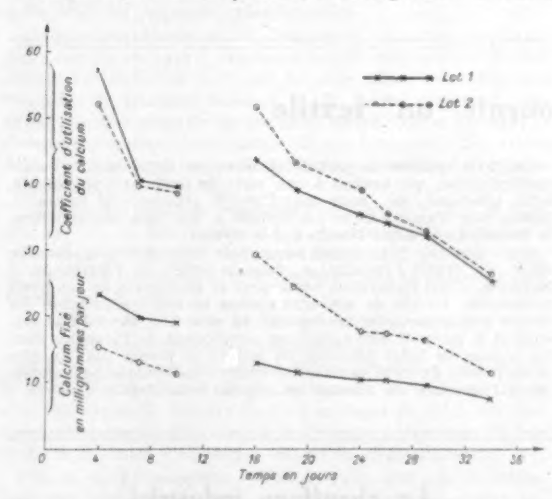


Fig. 11. — *Graphique indiquant, en fonction du temps, en bas le poids moyen de calcium fixé quotidiennement par l'animal, en haut le coefficient d'utilisation du calcium.*

Après quelques jours d'adaptation au régime, on constate, dans chacune des deux périodes, que le coefficient d'utilisation du calcium est indépendant des quantités de nourriture ingérées, c'est-à-dire que l'animal fixe un poids de calcium proportionnel au poids de régime consommé.

(D'après L. Randoin, P. Le Gallic et P. Fournier, *C. R. Ac. Sc.*, **240**, séance du 3 janvier).

phases, l'une initiale où les coefficients d'utilisation diffèrent d'un lot à l'autre, suivie d'une phase stationnaire pendant laquelle les coefficients demeurent identiques pour les deux lots (fig. 11).

Dans les deux périodes, à partir du moment où les rats sont en équilibre fonctionnel avec leur régime, la quantité de calcium fixée est rigoureusement proportionnelle au poids de nourriture ingérée. Ainsi, à la fin de la première période les rats du lot 1 ingèrent 48,8 mg de calcium par jour, dont ils fixent 19,4 mg, soit une utilisation de 39,7 pour 100. Cependant, les rats du lot 2 qui reçoivent 30 mg, dont ils retiennent 11,8 mg, utilisent 39,3 pour 100 du calcium ingéré (1).

Il existe entre les principes énergétiques et le calcium un équilibre fonctionnel précis, l'utilisation d'un certain poids des uns entraînant la fixation d'une quantité proportionnelle de l'autre. La possibilité de raccorder le métabolisme calcique au métabolisme des substances énergétiques conduit à une conception neuve et simple des besoins de l'organisme en calcium. Il reste à savoir si le besoin en d'autres éléments minéraux peut être envisagé sous cet angle, le plus ouvert, de la Physiologie générale.

* * *

Ainsi, parti de vues nouvelles sur la physiologie de l'os, nous aboutissons à une conception neuve du besoin en calcium, après avoir bousculé au passage quelques vieilles notions. Et déjà de nombreux problèmes se posent qu'il serait important de résoudre. Ces glucides de structure ont-ils ou non les mêmes facteurs d'utilisation que les glucides énergétiques ? Certains tissus, certains organes sont-ils spécialement impliqués dans leur utilisation ? Entre le glucide de structure qui vient de franchir la barrière intestinale et le composé dont l'ostéoblaste fait son profit, quels sont les composés intermédiaires ? Ces glucides n'interviennent-ils favorablement que dans l'ossification ? D'autres questions se posent encore, par exemple à propos du mode d'action de la vitamine D (2). Notre espoir serait de pouvoir, un jour prochain, répondre à certaines d'entre elles.

Paul Fournier,
Maître de conférences à l'École des Hautes Études,
Sous-directeur de laboratoire au C.N.R.S.

1. L. Randoin, P. Le Gallic et P. Fournier, *C. R. Acad. Sc.*, 1955, **240**, séance du 3 janvier.
2. Voir à ce sujet : La vitamine D, antirachitique, par P. Fournier. *La Nature*, n° 3234, octobre 1954, p. 390.

La mise en friche des terrasses de Menton a favorisé les glissements catastrophiques de 1952

Les glissements de terrains qui, l'automne dernier, ont ravagé plusieurs points des côtes italiennes nous rappellent que Menton fut en avril 1952 la victime d'un désastre identique. *La Nature* a indiqué en juillet 1952 (n° 3207, p. 224), les circonstances météorologiques exceptionnelles qui régnaient sur la ville et a signalé le rôle protecteur joué par les oliviers partout où ils n'avaient pas été arrachés. La responsabilité du déboisement dans de tels événements est maintenant comprise de tous. Mais J. Tricart a pu constater que la catastrophe de Menton a été aggravée par une autre inconséquence humaine : l'abandon de l'entretien de terrasses anciennement cultivées. Résumons cette observation (*Revue générale des Sciences*, n[os] 7-8, 1954, p. 193).

Les formidables averses qui se sont abattues sur Menton les 23 et 24 avril 1952 n'ont pas limité leurs effets aux zones habitées. Des glissements se sont aussi produits sur le versant occidental de la vallée du Gorbio, au-dessous du cimetière de Roquebrune. Il ne s'agissait là que de friches désertes et leur destin n'a donc pas retenu l'attention des autorités locales. Ces pentes sont constituées par des affleurements de couches marno-calcaires surmontées de poudingues et portaient autrefois des cultures en terrasses, maintenant presque toutes abandonnées. Les poudingues poreux permettent l'imbibition des couches marneuses sous-jacentes rendues ainsi imperméables. Ces marnes alternent avec des bancs calcaires et déterminent donc des niveaux de petites sources. Imbibées, les marnes deviennent plastiques et leur disposition peut leur faire jouer le rôle de lubrifiant pour les masses de calcaire et de poudingue. La constitution de ce versant est donc favorable aux glissements et il en porte des traces plus ou moins âgées.

Parmi ces friches subsistent une vigne entretenue et des olivettes délaissées. Il est remarquable que les glissements se localisent exclusivement dans les friches, épargnant totalement vigne et olivettes.

La végétation dans les friches présente un détail surprenant. Au-dessus de plusieurs restes de murettes poussent des groupements denses de roseaux et de Cypéracées, association hygrophile inattendue. Ces plantes indiquent un sol saturé d'eau et donc plastique, prêt à glisser si sa pression devient assez forte pour bousculer la murette ou si celle-ci s'écroule pour toute autre raison. L'effondrement d'une terrasse sur les inférieures peut ensuite provoquer une sorte d'avalanche.

Mais comment se sont établis ces points humides en permanence, paradoxaux en cet endroit et sous ce climat ? C'est une conséquence indirecte de l'abandon des cultures. Au début de la mise en friche, c'est bien certainement une végétation xérophile qui s'est installée partout. Des pins de 25 à 30 ans qui subsistent parmi les roseaux n'ont pu s'implanter que dans ces conditions, qui règnent d'ailleurs encore sur la plus grande partie de ces pentes.

Pendant une période qu'on estime à environ trente ans, les murettes en pierres sèches ont dû continuer à assurer le drainage du sol, ainsi qu'en régime cultural normal. Mais la terre non cultivée se tassant peu à peu est devenue moins perméable et, colmatant les interstices entre les pierres, a rendu les murettes étanches. Cela a permis l'accumulation de l'eau qui sourd à la limite inférieure des bancs calcaires et entretient l'état d'imbibition des affleurements marneux. En ces endroits, l'instabilité des terrains se trouve accrue. M. Tricart interprète ainsi le fait que les petits glissements épars sur le versant ont les murettes pour point de départ.

La couverture végétale primordiale d'un sol est en général la protection la plus efficace que l'on puisse imaginer. La mise en culture a souvent favorisé l'érosion de façon catastrophique et l'élevage plus encore, surtout dans la région méditerranéenne. L'exemple de Menton que M. Tricart souhaite que nous méditions montre que l'abandon sans précaution de l'exploitation d'un terrain ne suffit pas pour qu'il retourne à ses conditions primitives.

G. F.

L'huile de ricin fournit un textile

L'huile de ricin est maintenant une matière première très importante pour les industries chimiques et la culture du ricin en Afrique tropicale, particulièrement au Sénégal, bénéficie d'un renouveau d'intérêt. Les sulforicinates sont utilisés pour l'ensimage des laines, dans l'industrie des matières colorantes et la teinturerie, pour la préparation des huiles solubles employées dans l'usinage des métaux, et également comme émulsifiants. L'huile de ricin soufflée par barbottage d'air aux environs de 100° C est utilisée pour des mélanges d'huiles de graissage. Enfin l'huile de ricin déshydratée est fortement siccative.

D'autre part, le cracking de l'huile de ricin donne naissance à des produits très intéressants, en particulier : un corps en C_7, l'heptanal, aldéhyde œnanthique ou œnanthol, utilisé en parfumerie et qui est la base de la préparation de l'heptyne carbonate de méthyle, parfum de vert de violette ; un corps en C_{11}, l'acide undécylénique, qui conduit à une série de produits : plastifiants, acide sébacique, etc., mais dont l'intérêt principal est sa combinaison avec l'ammoniaque qui aboutit à une fibre polyamidique, le Rislan, de la même famille que le Nylon.

Cette nouvelle fibre paraît susceptible d'un débouché considérable. On étudie l'installation, dans la vallée de l'Huveaune, à Marseille, d'une importante usine pour la production de ces fibres artificielles. En vue de son alimentation en matière première des études sont poursuivies au Sénégal. Le ricin y existe à l'état sauvage et il pourrait être cultivé en complément de l'arachide dans les régions de faible humidité où celle-ci ne pousse pas. En plus de la récolte du ricin sauvage, sa culture méthodique peut apporter à l'économie du Sénégal un appoint considérable.

Un nouveau Parc national en Ardenne belge

Depuis octobre 1954, la Belgique est dotée d'un nouveau parc national grâce à l'initiative de l'Association « Ardenne et Gaume », qui vient, dans les environs de Rochefort, en Ardenne, de conclure à cet effet, une série de contrats avec les diverses communes intéressées. Couvrant une superficie d'environ 1 000 ha, le Parc national de Lesse et Lomme, noms des deux charmantes rivières qui le parcourent, comprend des étendues de bois, de taillis, roches et « tiennes » calcaires ou pelouses rocailleuses et sèches, d'un grand intérêt scientifique. La variété des sols se reflète dans la flore adaptée à des conditions très diverses et dans une faune intéressante d'insectes, de reptiles et de batraciens, espèces méridionales parfois, témoins d'un passé lointain selon les uns, ou qui, selon les autres, se seraient fixées dans la région, en provenance du sud, grâce aux conditions climatiques favorables (*Information U.I.P.N.*).

Le chauffage industriel à haute fréquence

Le chauffage industriel à haute fréquence se développe rapidement aux États-Unis. Il permet d'abaisser le prix de revient de la fabrication, tout en améliorant la qualité et la rapidité de la production. Par cette technique on atteint facilement des productions de plusieurs centaines d'objets traités à l'heure. Il existe aux États-Unis environ 6 000 installations de chauffage industriel à haute fréquence par induction, fonctionnant dans les industries métalliques ; un tiers environ de ces installations datent des trois dernières années. Ces chiffres ne comprennent pas les applications au chauffage diélectrique, pour lequel une puissance de plus de 20 000 kW est utilisée, se répartissant comme suit : 49 pour 100 dans l'industrie du bois, 30 pour 100 dans celle des plastiques, 17 pour 100 pour le caoutchouc et 4 pour 100 dans les fonderies pour le séchage des moules en sable.

L'Aviation commerciale française

L'aviation commerciale française se classe au troisième rang dans le monde, après celles des États-Unis et de la Grande-Bretagne. L'aéroport de Paris, qui groupe les terrains d'Orly et du Bourget, est le second des aéroports européens, à peine dépassé dans l'ensemble de son activité par l'aéroport de Londres. Il a permis d'assurer en 1953 le départ, l'arrivée ou le passage en transit de plus de 1 400 000 personnes et l'embarquement ou le débarquement de 23 250 t de fret.

Un élément comparatif de l'accroissement, en trois ans seulement, du trafic aérien en France est donné par le tableau suivant de l'activité de la Compagnie Air-France :

	1950	1953
Kilomètres parcourus	48 452 900	56 899 770
Passagers transportés . . .	775 000	1 319 762
Poste (en tonnes)	6 954	8 861
Messageries (en tonnes). . .	28 671	37 803

Or, l'activité des transports aériens est encore à ses débuts. On se demande ce que deviendront les chiffres dans une dizaine d'années seulement.

Les Compagnies. — Les compagnies françaises de transport aérien sont au nombre de six et représentent une flotte de plus de 160 avions commerciaux, parmi lesquels une centaine sont des appareils quadrimoteurs.

La plus importante est la Compagnie nationale Air-France qui a succédé en 1948 à l'ancienne société anonyme Air-France, elle-même fondée en 1933 par le groupement des entreprises françaises de transport aérien C. I. D. N. A., Air-Union, Air-Orient, Société générale de transport aérien (lignes Farman) et Compagnie générale Aéropostale (lignes Latécoère). Les avions d'Air-France relient aujourd'hui la presque totalité des capitales et grandes villes du globe.

La flotte des appareils comprenait en octobre 1954 : 38 Douglas D. C. 3, 19 Douglas D. C. 4, 21 Lockheed « Constellation » type 949, 9 Lockheed « Super-Constellation », type 1949, 12 Vickers « Viscount » à turbo-propulseurs et 11 Bréguet « Provence » deux ponts.

Nous donnons plus loin la description de ces appareils.

Les autres compagnies françaises sont :

la T. A. I. (Transports Aériens Intercontinentaux) qui dessert le Maroc, l'A. E. F., l'A. O. F., Madagascar et l'Extrême-Orient avec des appareils Douglas D. C. 4 et Super D. C. 6, ces derniers aménagés en deux classes, la 1re classe comportant 16 fauteuils et la classe « touriste » offrant 42 sièges pullman;

l'U. A. T. Aéromaritime, créée en 1949, qui relie la métropole aux principaux points de l'Afrique française parmi lesquels : Dakar, Conakry, Abidjan, Fort-Lamy, Fort-Archambault, Bangui, Douala, Libreville, Brazzaville, Pointe-Noire, etc., avec grandes lignes desservies par des Douglas D. C. 6 et lignes locales africaines par des « Héron » de Havilland;

la C. G. T. A. (Compagnie générale de transport aérien), née de la fusion d'Air-Algérie et d'Air-Transport;

Air-Maroc, qui a incorporé Air-Atlas;

Aigle-Azur, dont les appareils Douglas D. C. 6 relient Paris à Saïgon et Hanoï, *via* Beyrouth, Karachi et Calcutta, et Paris à Tananarive, *via* Djibouti.

Les grands itinéraires. — Nous ne pouvons ici, relever l'ensemble des itinéraires exploités par les compagnies aériennes françaises; mais celles-ci mettent à la disposition de la clientèle des « horaires-indicateurs » identiques dans leur présentation à ceux des chemins de fer. Bornons-nous à citer les liaisons principales (calcul des temps de vol, d'aérodrome à aérodrome, escales comprises).

Avec les capitales d'Europe : Paris est relié à Bruxelles en 1 h (avion Convair); à Londres en 1 h 15 (avion Vickers-Viscount); à Madrid en 2 h 50 (Vickers-Viscount); à Copenhague en 2 h 55 (Constellation); à Lisbonne en 3 h 45 (Constellation); à Rome en 4 h (Vickers-Viscount), avec 40 mn d'escale; à Berlin en 4 h 15, avec 40 mn d'escale; à Stockholm en 5 h (Vickers-Viscount), avec 30 mn d'escale; à Athènes en 9 h (Vickers-Viscount).

Vers le Proche-Orient : Paris est relié au Caire en 7 h 40, à Beyrouth en 8 h, à Tel-Aviv en 8 h 35, à Bagdad en 11 h 15, à Téhéran en 12 h 05, tous ces voyages étant effectués à bord du Lockheed « Constellation ».

Vers l'Extrême-Orient : Paris-Beyrouth-Bagdad-Karachi-Calcutta et Saïgon, avec, pour certains services, escale à Bangkok (Siam) et prolongements vers Manille (Philippines), Tokyo, Darwin et Brisbane (Australie), Nouméa (Nouvelle-Calédonie). La durée du voyage Paris-Saïgon est de 26 h. 20, Paris-Tokyo de 42 h.

Vers l'Afrique : Paris est relié à Alger en 3 h 40 de vol, à Tunis en 4 h 30, à Casablanca en 5 h 10.

Les lignes desservant l'A. O. F. sont : Paris-Dakar (10 h 20), avec prolongement vers Conakry et Abidjan; Paris-Niamey-Abidjan ; Paris-Alger-Niamey-Lomé ; pour l'A. E. F. : Paris-Alger-Kano-Brazzaville (16 h 20); Paris-Tunis-Tripoli-Fort-Lamy-Yaoundé-Douala; Paris-Tripoli-Fort-Lamy-Bangui-Brazzaville, etc.; pour Madagascar : Paris-Alger-Kano-Brazzaville-Livingstone-Tananarive (28 h 50), ou Paris-Rome-Le Caire-Khartoum-Nairobi-Tananarive, avec prolongement à l'Île de la Réunion et l'Île Maurice.

Vers l'Amérique du Nord : Paris-New-York (16 h 25) par Shannon et Gander, avec des services passant à Montréal pour desservir le Canada et des prolongements vers Chicago (20 h 40) et Mexico. Air-France exploite ces lignes avec des appareils Constellation et Super-Constellation.

Vers l'Amérique du Sud : Paris au Venezuela (19 h 50) et à la Colombie (22 h 45); Paris-Lisbonne-Pointe-à-Pitre (Guadeloupe)-Caracas et Bogota; Paris-Rio de Janeiro (22 h 10) et São-Paulo (23 h 30), Montevideo (27 h 30), Buenos-Ayres (28 h 20), par Madrid et Dakar.

Air-France assure également l'exploitation des lignes locales en Afrique du Nord, A. O. F., A. E. F., Madagascar, les Antilles et la Guyane.

Classe standard et classe touriste. — Le voyage par air était resté, jusqu'à ces dernières années, l'apanage d'une clientèle fortunée, habituée à un grand confort pour un tarif de transport déjà supérieur à celui des premières classes de chemin de fer. Le temps gagné venait compenser en partie la différence de prix, mais le coût des déplacements aériens dépassait malgré tout les possibilités budgétaires du plus grand nombre des voyageurs.

Dans le but d'élargir le champ de leur clientèle, les compagnies ont été amenées à créer deux classes de transport sur leurs appareils. Les aménagements déjà existants ont été conservés sous la dénomination de *classe standard* (ou 1re classe), à l'usage de la clientèle de luxe, mais on a institué une nouvelle classe, dite *classe touriste*, d'un tarif moins élevé que la précédente avec, en contre-partie, moins de recherche dans le confort. La différence de prix, au cours de 1952, première année de cette institution, a été de l'ordre de 30 pour 100, ce qui a

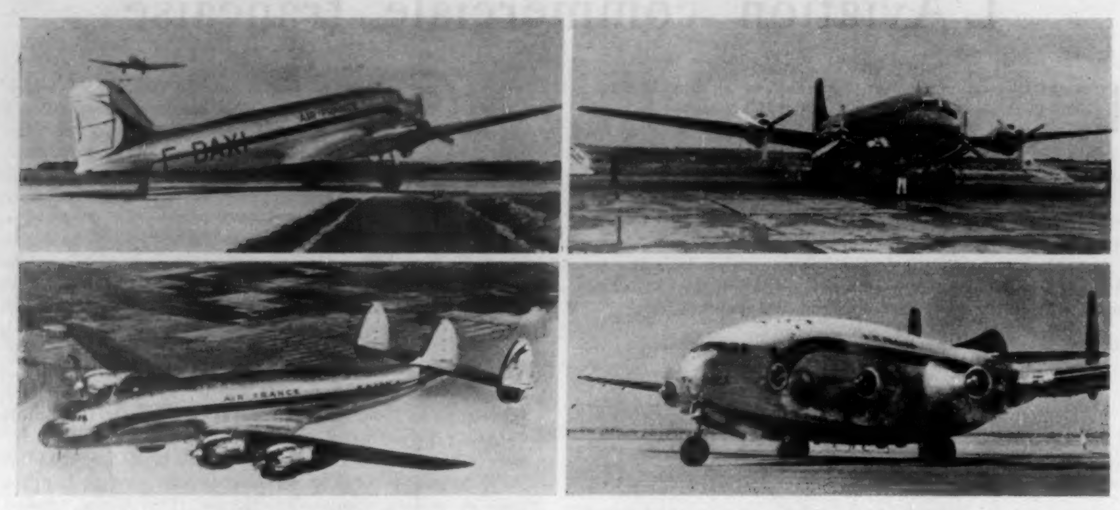


*Fig. 1, 2 (en haut), 3, 4 (en bas). — **Douglas D. C. 3 ; Douglas D. C. 4 ; Lockeed Constellation type 749 A ; Bréguet-Provence type 763.***
(Photos Air-France).

immédiatement accru le nombre des voyageurs. Pour citer un unique exemple, l'accroissement a été de plus de 40 pour 100 sur la ligne de l'Atlantique-Nord exploitée par Air-France.

Le nombre de voyageurs admis dans les cabines est, en classe touriste, un peu plus élevé qu'en classe standard, par suite d'une légère réduction de l'espacement entre les sièges et de la largeur du couloir de circulation. Le bar et les petits salons de jeux ont été supprimés en classe touriste, les vestiaires rendus un peu moins spacieux. Le poids maximum autorisé pour les bagages des voyageurs a été légèrement diminué par rapport à la 1re classe.

Principaux avions commerciaux en service sur les lignes françaises. — La diversité des lignes exploitées (longueur totale, régions traversées, importance du trafic) a exigé un choix d'appareils plus spécialement adaptés aux conditions du transport, ce qui explique le nombre important de types différents d'avions en service. Nous donnons ci-dessous une description succincte des principaux avions commerciaux utilisés par les compagnies françaises :

Douglas D. C. 3. — Cargo aérien durant la guerre, avec plus de 10 000 exemplaires utilisés et adopté, dès l'armistice, par la plupart des sociétés de transport aérien, le Douglas D. C. 3, réalisé aux États-Unis, est un monoplan à aile basse de 29 m d'envergure et 20 m de long équipé de deux moteurs Pratt et Whitney développant au total 1 300 ch en croisière. Il est aménagé en deux cabines recevant un total de 21 passagers; sa vitesse moyenne est de 260 km/h.

Ces quelques chiffres suffisent à montrer que le Douglas D. C. 3 est aujourd'hui techniquement dépassé. Il dessert encore un nombre important de lignes locales mais cède progressivement la place aux appareils plus nouveaux.

Douglas D. C. 4. — Souvent appelé « Skymaster », c'est-à-dire « maître du ciel », le Douglas D. C. 4, en service sur les lignes depuis 1946, est utilisé sur les réseaux d'Europe et d'Afrique du Nord. C'est un monoplan à aile cantilever de près de 36 m d'envergure et 29 m de long, équipé de quatre moteurs d'une puissance totale de 5 800 ch; son poids total au décollage atteint 33 t.

La cabine du Douglas D. C. 4 est aménagée pour recevoir 44 passagers de 1re classe et 59 de classe touriste. La vitesse de croisière est de 330 km/h.

Douglas D. C. 6. — Le Douglas D. C. 6 B, utilisé par les Compagnies françaises T. A. I. (Transports aériens intercontinentaux) et U. A. T. Aéro-maritime, dispose d'une voilure identique à celle du Douglas D. C. 4 mais son fuselage est plus allongé et sa longueur totale est de 32 m. C'est un quadrimoteur de 10 000 ch dont le poids en charge dépasse 48 t. Sur les modèles utilisés par la T. A. I., il existe deux classes à bord : la 1re classe, avec 20 fauteuils, et la classe touriste, avec 50 sièges Pullman. La vitesse de croisière est de 500 km/h et son autonomie de vol de 6 400 km.

Constellation type 749 A. — Réalisé aux États-Unis par la « firme » Lockheed, le Constellation dessert les lignes long-courrier d'Air-France reliant notre pays à l'Amérique, l'A. O. F., l'A. E. F., l'Extrême-Orient et Madagascar. Avion à aile basse « cantilever » de 37,5 m d'envergure et 29 m de long, il possède une silhouette très caractéristique avec un empennage à trois dérives; c'est un quadrimoteur développant 10 000 ch au décollage, avec hélices à pas réversible. La cabine est aménagée pour recevoir 57 passagers. Le poids total de l'appareil est de 48,5 t, avec une charge marchande de 6 t pour des étapes de 3 à 4 000 km. Vitesse de croisière de l'ordre de 430 km/h.

Super-Constellation type 1049. — Dérivant du Constellation, il a la même silhouette générale et la même envergure,



Fig. 5. — Le plus gros avion commercial construit en France : S. E. 2010 Armagnac.
(Photo S.N.C.A.S.E.).





(Photo F. Dengremont). **Fig. 6 et 7.** — *A gauche : **Noratlas 2501.** A droite : **Vickers Viscount.*** (Photo *Air-France*).

mais il dispose d'une cabine plus spacieuse qui augmente sa longueur de 5,60 m, et de moteurs plus puissants qui lui apportent un gain de 3 000 ch. C'est donc un appareil de 37,5 m d'envergure, 35 m de long, 13 000 ch de puissance totale et d'un poids en ordre de vol qui dépasse 60 t. Ses réservoirs peuvent contenir près de 25 000 l de carburant.

Sur les lignes d'Air-France deux versions principales d'aménagements ont été choisies : une version mixte (1re classe et classe touriste) comporte 4 lits et 20 fauteuils-couchettes et une version 2e classe offre 34 fauteuils du type standard. L'installation de deux classes à choisir est ainsi réalisée sur le même avion. Une version de luxe offre 32 places, dont 16 fauteuils-couchettes et 8 cabines à deux lits.

Plus rapide que le Constellation le Super-Constellation réalise une vitesse de croisière de 510 km/h, et son autonomie de vol lui permet de franchir sans escale des étapes de 6 000 km.

S. E. 2010 Armagnac. — Véritable « paquebot de l'air », le S. E. 2010 Armagnac est le plus gros avion qui ait été étudié et construit en France; nous en avons déjà donné une description détaillée (*La Nature*, juin 1950, p. 165) et ne relèverons ici que ses caractéristiques les plus essentielles : monoplan à aile médiane de 49 m d'envergure, 236 m² de surface alaire, 40 m de long, 13 m de haut, doté de quatre moteurs totalisant une puissance de 14 000 ch à 2 700 tours. Fuselage monocoque d'un diamètre atteignant 4,70 m au maître-couple; train d'atterrissage du type « tricycle », à roues jumelées sur le train principal. La cabine, à un seul pont, peut recevoir 84 passagers, en deux compartiments, dans son aménagement de 1re classe et pourrait être aménagée pour transporter 107 passagers de 2e classe.

Au poids de 65 t l'Armagnac réalise une vitesse de croisière de 450 km/h, avec une vitesse maximale de 530 km/h. Pris en charge par la S. A. G. E. T. A. (Société auxiliaire de gérance et de transports aériens), les exemplaires du S. E. 2010 Armagnac assurent les liaisons Paris-Saïgon par Beyrouth, Karachi et Calcutta.

Bréguet type 763 « Provence ». — Dans le même numéro de *La Nature* de juin 1950 nous décrivions le Bréguet 763 « Provence ». C'est un avion à deux ponts doté d'aménagements qui lui permettent d'être utilisé, soit comme transporteur exclusif de passagers, soit comme transporteur de passagers et de marchandises. Atteignant une envergure de 43 m (6 m de moins que l'Armagnac), une longueur de 29 m et une hauteur de près de 10 m, le Bréguet-Provence développe, avec ses quatre moteurs, une puissance de 9 600 ch au décollage. D'un poids total de 52 t, il peut emporter une charge marchande de 12 t sur des étapes de 1 400 km à une moyenne horaire de 360 km, et, sur des étapes de 2 000 km, sa charge marchande dépasse encore 30 t.

Le Bréguet-Provence, qui peut embarquer 59 personnes sur le pont supérieur et 48 passagers ou du fret sur le pont inférieur, est utilisé par Air-France sur les itinéraires reliant la France à l'Afrique du Nord et sur les lignes intérieures africaines.

Nord 2501 « Noratlas ». — Le Noratlas est, comme le Bréguet type 763, un appareil mixte, c'est-à-dire capable de transporter, selon ses aménagements, passagers ou marchandises. Il diffère du Bréguet par ses dimensions moindres (32,5 m d'envergure au lieu de 43 m et 22 m de longueur au lieu de 29 m), par son aile haute alors que Bréguet a adopté la formule de l'aile médiane, par son fuselage à un seul pont et par le montage de ses empennages sur deux fuseaux-poutres. Cette dernière disposition présente la particularité de dégager complètement la cabine destinée à servir de soute et à faciliter ainsi les gros chargements. La soute, de près de 10 m de long et 2,75 m de large, offre un volume de 51 m³ et permet un spacieux aménagement pour 40 passagers. L'avion peut emporter une charge marchande de 7,5 t pour un poids total de 20 t.

Deux moteurs Bristol-Herculès fournissent une puissance de 4 140 ch au décollage. Les performances de l'appareil sont les suivantes : vitesse de croisière, 335 km/h à 3 000 m d'altitude; vitesse maximale, 440 km/h; longueur de roulement au décollage, 660 m; longueur de roulement à l'atterrissage, 420 m.

Vickers « Viscount ». — Premier appareil de la formule à turbo-propulseurs (1) affecté à l'exploitation des lignes commerciales, l'avion anglais Vickers « Viscount » a été adopté par Air-France sur la presque totalité de ses lignes européennes. Ses caractéristiques sont les suivantes : puissance fournie par les quatre turbo-propulseurs, 5 600 ch et 1 460 livres de poussée; envergure, 28,65 m; longueur, 24,75 m; hauteur, 8,15 m; poids à vide équipé, 16 200 kg; poids maximal au décollage, 22 700 kg; capacité des réservoirs, 7 800 l.

Le Vickers Viscount est présenté sous plusieurs versions d'aménagement : la version standard (1re classe) pour 40 passagers, la version touriste pour 48 passagers et la version mixte : cargo-passagers. Sa vitesse de croisière est de 700 km/h et son altitude de vol de 7 à 9 000 m.

De Havilland « Comet » à réaction. — Bien que cet appareil, à la suite de tragiques accidents (dont la cause semble maintenant expliquée par une « fatigue du métal » provoquant la rupture du fuselage) ait été retiré du service et que l'on ne

1. Voir : Retour au turbopropulseur, *La Nature*, janvier 1954, p. 18.



Fig. 8 et 9. — *A gauche . La cabine de l'Armagnac. A droite : Un compartiment de luxe du Super-Constellation.*

sache encore s'il reprendra sa place sur les lignes après transformations dans sa structure, nous en rappelons les caractéristiques, car il fut le premier avion du type à réaction utilisé pour le transport des passagers. Ses premiers vols datent en effet de mai 1952, avec itinéraire Londres-Johannesburg exploité par la Compagnie anglaise B. O. A. C.

Le Comet 1 est équipé de quatre turbo-réacteurs « Ghost » développant chacun au décollage une poussée statique de 2 260 kg. Les réservoirs ont, au total, une contenance de 31 800 l de carburant. Caractéristiques principales : aile basse du type « cantilever » de 35 m d'envergure; longueur, 28 m; surface portante, 187 m²; cabine de 1re classe pour 44 passagers, dans laquelle la pression atmosphérique est rétablie de 2 400 m à 12 000 m, altitude atteinte par l'avion; atterrisseur du type « tricycle ».

Le poids à vide équipé du Comet type 1 est de 13,5 t pour un poids maximal au décollage de 50 t. La charge marchande est de 5,5 t pour un rayon d'action de 2 300 km. La vitesse moyenne de croisière est de 740 km/h ce qui représentait, avant le retrait des exemplaires en service, un gain d'environ 250 km/h par rapport aux vitesses de croisière des avions actuels avec moteurs à pistons ou du type « compound ».

Avions commerciaux actuellement en construction. — S'il ne fait aucun doute que la formule de la propulsion par réaction soit celle de l'avenir, car le gain de vitesse réalisé sur la propulsion classique est déjà de l'ordre de 30 pour 100, les grands quadrimoteurs de la période actuelle ont toutefois, avant de céder la place, de nombreuses années devant eux. L'amortissement du matériel qu'ils représentent est, d'une part, loin d'être réalisé; puis sur les faibles parcours, tels ceux de Paris-Bruxelles ou Paris-Londres, l'économie de temps ne sera guère sensible. Il semble plutôt que ce soit l'hélicoptère géant, décollant ou atterrissant dans le centre des capitales qui constituera, d'ici quelques années, le moyen le plus rapide de joindre entre elles les trois capitales de la France, de la Belgique et de l'Angleterre, du seul fait que le trajet jusqu'aux aéroports se trouvera supprimé.

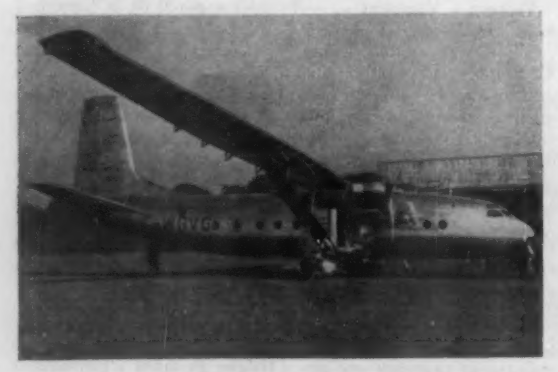


Fig. 10. — *Un avion commercial aux essais : le Hurel-Dubois.*
Remarquer l'allongement très important de la voilure.
(Photo Hurel-Dubois).

Dans tous les pays disposant d'une industrie aéronautique, de nouveaux appareils de transport sont en période d'essais, en construction ou à l'étude. En France deux modèles dont le premier a déjà effectué de brillantes démonstrations et le second est en période d'étude avancée, attirent plus particulièrement l'attention : le bi-moteurs Hurel-Dubois H. D. 32 et le modèle à réaction S. E. 210 « Caravelle ».

Hurel-Dubois H. D. 32. — La voilure de cet appareil représente une conception très révolutionnaire, avec un allongement beaucoup plus grand que celui des voilures classiques (nous rappelons que l'allongement est le rapport entre la longueur de l'aile et sa profondeur). La charge commerciale susceptible d'être emportée par l'appareil sur des distances moyennes pourra atteindre le double des charges actuellement admises sur les avions de puissance équivalente.

Les caractéristiques de l'avion Hurel-Dubois H. D. 32 sont les suivantes : voilure haute haubanée de 45 m d'envergure et 20,2 d'allongement; surface portante, 100 m²; deux moteurs de 1 220 ch chacun au décollage; fuselage-coque, empennage à deux dérives, train tricycle; aménagement prévu pour 44 passagers; vitesse en palier, 338 km/h.

S. E. 210 « Caravelle ». — C'est le premier avion à réaction de construction française qui doive être mis en service sur les lignes. Deux prototypes sont en cours de construction dans l'immense hangar du terrain de Blagnac (près de Toulouse) où naquit le géant de l'air « Armagnac ».

Le problème aujourd'hui posé aux ingénieurs chargés de tracer les plans d'un avion de transport à réaction est de concilier les nécessités techniques de cette formule de propulsion avec les obligations commerciales toujours valables, à savoir que les tarifs, la sécurité de vol et le confort n'aient à supporter



Fig. 11. — *L'avion à réaction S. E. 210 Caravelle en cours de montage dans le hangar du terrain de Toulouse-Blagnac.*
(Photo S.N.C.A.S.E.).

aucun changement défavorable pour le voyageur.

C'est l'avenir qui nous dira si l'avion Caravelle s'est parfaitement plié aux exigences que le transport aérien lui aura imposées. Sur la planche à dessin la formule adoptée est fort séduisante et la technique française semble, ici, s'acheminer vers une complète réussite.

La « Caravelle » (fig. 11) sera un avion de la catégorie « moyen-courrier » à ailes en flèche de 34,30 m d'envergure et train tricycle. Sa particularité essentielle, comparativement au « Comet » anglais, consiste en l'emplacement de ses réacteurs, disposés vers l'arrière du fuselage, presque sous l'empennage et soutenus par des nacelles alors que les réacteurs du Comet sont installés dans la voilure. Cette disposition vers l'arrière offre les avantages suivants : diminution du danger d'incendie, grâce à une grande distance entre les réacteurs et les réservoirs de carburant, qui sont placés dans les ailes; élimination de l'accident qui serait dû à l'atteinte par les passagers de pièces provenant de l'éclatement de l'un des réacteurs puisque chacun de ceux-ci est disposé en dehors du plan d'installation des voyageurs; atténuation du bruit, dû à l'éloignement des turbines; installation plus aisée des réacteurs qui ne rendront pas nécessaire, en cas de changement dans leur forme, le changement du dessin de l'avion.

Les autres caractéristiques du bi-réacteur Caravelle seront : longueur, 31,50 m; hauteur, 8,94 m; surface alaire, 146 m²; réservoirs d'aile d'une contenance de 20 000 l; poids total, 38 t environ.

L'avion est étudié pour le transport de 70 passagers à une vitesse de croisière de 750 km/h avec un rayon d'action maximum de 3 700 km. Il semble caractériser ce que sera, dans un proche avenir, le véhicule aérien des moyens itinéraires.

FERNAND DE LABORDERIE.

L'usinage par étincelage

Un colloque a eu lieu récemment à Léningrad sur la question de l'usinage par « étincelage » qui paraît soulever en U.R.S.S. un intérêt considérable. Dans ce procédé, l'action de l'outil sur une pièce à usiner est remplacée par une série de décharges haute tension émanant d'une pointe métallique qui sert d'électrode. Dans certaines conditions, chaque étincelle enlève un petit morceau de métal à la pièce. C'est pratiquement la seule méthode qui s'offre pour découper des métaux très durs (carbures métalliques des pointes d'outils, limes, etc.), normalement considérés comme réfractaires à tout usinage. Les paramètres physiques en jeu sont multiples ; en particulier le rôle du milieu intermédiaire, air, eau, huile, apparaît très important.

Nekroschevich a établi que la force mécanique d'impulsion résultant de l'étincelle est proportionnelle à la longueur de la décharge, avec un coefficient dépendant de la nature des électrodes. Mitskevich a montré qu'avec un potentiel constant la longueur de l'étincelle dans un diélectrique liquide était fonction de la concentration des particules métalliques qui s'y trouvaient en suspension. La longueur d'étincelle est maximale avec des électrodes de métaux différents. Popilov a découvert une relation directe entre les propriétés du milieu et l'attaque du métal produite par l'étincelle. Tous ces travaux soulignent l'importance du liquide intermédiaire pour lequel les brevets industriels pris principalement en U.R.S.S. recouvrent en général le pétrole et des dérivés du pétrole.

Popilov a utilisé la décharge d'étincelles d'un condensateur chargé en courant continu sous 22 V et débitant 20 à 100 A ; l'électrode était alors un disque tournant à une vitesse périphérique d'environ 1 000 m/mn. V. Nevezkine a réalisé ainsi une scie circulaire constituée d'un disque de 170 mm de diamètre tournant à 900 tr/mn et recevant des impulsions de potentiel.

Enfin, on a montré qu'en utilisant des électrodes en carbone, il était possible sous certaines conditions, de réaliser un durcissement superficiel des pièces par formation, au moyen de l'étincelle, de particules de carbure de fer.

Bière de raisin

Des chimistes espagnols auraient réussi à produire de la bière à partir du raisin. Cette boisson aurait un goût et un aspect semblables à celle qu'on fait avec l'orge ; un litre de jus de raisin produirait 2,5 l de bière. Les essais ont été effectués à Manzanarès, à 100 km au sud de Madrid. Les résultats permettraient de trouver un débouché supplémentaire à la surproduction de la vigne espagnole.

D'autres possibilités d'utilisations de jus de raisin sont envisagées : pour la production de levures, d'acide citrique, de crème de tartre, etc.

Ultrasons contre fumées

Les ultra-sons, entre 20 et 100 kHz, ont la propriété d'agglomérer les particules des fumées d'un diamètre d'environ 10 microns, notamment celles de soufre et de carbone ; pour chaque type de fumée il existe une fréquence et une intensité optimales. Pour cet emploi les générateurs d'ultra-sons piézo-électriques, à magnétostriction, etc., ne sont pas assez puissants. Il faut utiliser des sirènes rotatives à ultra-sons, du type de celles qui sont utilisées aux États-Unis dans les installations de dépoussiérage. On peut, avec une sirène d'une puissance de 10 kW, traiter 1 400 m³ de gaz par minute.

LE CIEL EN MARS 1955

SOLEIL : du 1er au 31 sa déclinaison croît de — 7°58′ à + 3°46′ ; la durée du jour passe de $10^{h}56^{m}$ le 1er à $12^{h}44^{m}$ le 31 ; diamètre apparent le 1er = 32′20″,0, le 31 = 32′4″,1. — **LUNE** : Phases : P. Q. le 1er à $12^{h}40^{m}$, P. L. le 8 à $15^{h}41^{m}$, D. Q. le 16 à $16^{h}36^{m}$, N. L. le 24 à $3^{h}42^{m}$, P. Q. le 30 à $20^{h}10^{m}$; *apogée* le 11 à 21^{h}, diamètre apparent 29′33″ ; *périgée* le 26 à 16^{h}, diamètre app. 32′48″. Principales conjonctions : avec **Jupiter** le 4 à 10^{h}, à 2°1′ S. ; avec **Uranus** le 4 à 17^{h} à 2°25′ S. ; avec **Neptune** le 12 à 1^{h}, à 6°37′ S. ; avec **Saturne** le 13 à 22^{h}, à 5°48′ S. ; avec **Vénus** le 21 à 2^{h}, à 3°57′ N. ; avec **Mercure** le 22 à 11^{h}, à 7°9′ N. ; avec **Mars** le 27 à 11^{h}, à 2°40′ N. ; avec **Jupiter** le 31 à 16^{h}, à 2°17′ S. ; avec **Uranus** le 31 à 22^{h}, à 2°37′ S. Principales occultations : le 3, de 1 *Gémeaux* (mag. 4,3), immersion à $0^{h}0^{m}$,9 ; le 15, de 19 *Scorpion* (mag. 4,8), émersion à $2^{h}12^{m}$,1 ; le 28 de τ *Taureau* (mag. 4,3), immersion à $22^{h}0^{m}$,5 ; le 31, de *g Gémeaux* (mag. 5,0), immersion à $22^{h}54^{m}$,8. — **PLANÈTES** : **Mercure,** plus grande élongation du matin le 10, à 27°26′ Ouest du Soleil ; difficilement observable ; **Vénus,** dans le *Sagittaire*, puis le *Capricorne* et le *Verseau*, astre du matin, se lève le 14 à $4^{h}37^{m}$; **Mars,** dans le *Bélier*, puis le *Taureau*, astre du soir, se couche le 14 à $22^{h}19^{m}$; **Jupiter,** dans les *Gémeaux*, se couche le 14 à $3^{h}51^{m}$, observable une grande partie de la nuit, diamètre pol. app. 38″,8 le 14 ; **Saturne,** dans la *Balance*, visible dans la seconde partie de la nuit, se lève le 14 à $22^{h}51^{m}$; **Uranus,** dans les *Gémeaux*, est visible comme **Jupiter**, qu'elle suit très près à l'Est, se couche le 2 à $4^{h}52^{m}$, position : $7^{h}44^{m}$ et + 21°51′, diamètre app. 3″,8 ; **Neptune,** dans la *Vierge*, visible presque toute la nuit, se lève le 2 à $21^{h}36^{m}$, position : $13^{h}46^{m}$ et — 9°7′, diamètre app. 2″,4. — **ÉTOILES FILANTES** : *Bootides*, radiant ζ *Bouvier*, du 10 au 12, rapides, traînées persistantes. — **ÉTOILES VARIABLES** : minima observables d'*Algol* (2^{m},3-3^{m},5) le 12 à $3^{h}22^{m}$, le 15 à $0^{h}14^{m}$, le 17 à $21^{h}7^{m}$, le 20 à $17^{h}46^{m}$, minima de β *Lyre* (3^{m},4-4^{m},1) le 11 à $2^{h}10^{m}$, le 24 à $0^{h}29^{m}$. — **ÉTOILE POLAIRE** : Passage inf. au méridien de Paris : le 2 à $3^{h}5^{m}44^{s}$, le 12 à $2^{h}26^{m}16^{s}$, le 22 à $1^{h}46^{m}50^{s}$.

Phénomènes remarquables. — Observer, à la jumelle, pendant tout le mois, le rapprochement graduel des planètes **Jupiter** et **Uranus.** Du 10 au 12, observer les étoiles filantes *Bootides*.

(Heures données en **Temps universel** ; tenir compte des modifications introduites par l'heure en usage).

L. Tartois.

LES LIVRES NOUVEAUX

Celestial Mechanics, par W. M. Smart. 1 vol. 17 x 25, 380 p., 34 fig. Longmans, Green and Cº, Londres, 1953. Prix : 70 shillings.

Ouvrage essentiellement théorique et d'une haute tenue mathématique. Il traite de sujets trop souvent négligés ces dernières années ; après avoir rappelé les notions fondamentales de dynamique, l'auteur introduit les équations de Lagrange et de Hamilton-Jacobi, dont il donne les développements en série de fonctions de Bessel et hypergéométriques ; la seconde partie traite des applications de ces méthodes à différents problèmes importants : plusieurs chapitres sont consacrés au mouvement de la Lune, un autre aux calculs de Leverrier et d'Adams, relatifs à la découverte de Neptune, et un autre aux corrections de relativité concernant le déplacement du périhélie de Mercure. La précession, la nutation et le problème si important de la détermination de l'heure sont également abordés. Presque toutes les démonstrations sont explicitées, les notations sont claires et modernes. Livre fondamental en tant qu'instrument de travail pour l'astronome.

Reports on progress in Physics 1954. 1 vol. 17,5 x 25, 280 p. ill. The Physical Society, Londres, 1954. Prix : 2 livres, 10 shillings.

Volume XVII des exposés retenus par la commission de la Société de Physique de Londres pour la publication de son volume annuel. Les sujets traités sont les suivants : La structure des orbites atomiques. Théorie de la diffraction. Électricité atmosphérique. L'état physique de la couronne solaire. Théorie et origine des rayons cosmiques. La valence et les liaisons chimiques. Antiferromagnétisme. Mouvements horizontaux dans l'ionosphère.

Physique des vibrations, par A. Fouillé. Préface de Y. Rocard. 1 vol. 16×25, 546 p., nombr. fig. Dunod, 1954. 1 vol. broché : 4 800 F ; relié : 5 400 F.

Destiné en principe à satisfaire les besoins de l'enseignement dans les écoles d'Arts et Métiers, cet ouvrage est consacré à l'ensemble des problèmes de vibrations dont des auteurs comme M. Y. Rocard ont si bien su dégager l'unité. Des phénomènes aussi différents que les vibrations sonores et ultrasonores, la propagation des ondes électromagnétiques, le comportement des courants alternatifs et des radiations lumineuses sont justiciables des mêmes formulations mathématiques ; la tendance moderne est de les étudier conjointement dans un but d'économie de pensée. L'ouvrage de M. Fouillé répond parfaitement à cette tendance et joint à de solides qualités didactiques un sens aigu de l'actualité. Les exemples empruntés aux acquisitions les plus modernes de la technique abondent : fusée de Pozit, applications militaires de l'infrarouge, comportement des ailettes de turbines, extensomètre acoustique. Quatre grandes sections : étude des mouvements vibratoires, notions d'acoustique, optique physique, étude des radiations, embrassent l'ensemble du domaine des vibrations. Enfin, particularité rare et précieuse, un recueil d'exercices complète l'ouvrage et permet au lecteur de vérifier la solidité des connaissances qu'il vient d'acquérir.

Mémoires sur la mécanique des fluides, en hommage à M. Riabouchinsky. 1 vol. 18×27, 443 p., 60 fig. Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air, Paris, 1954. Prix : 3 000 F.

Ensemble de mémoires de spécialistes de la mécanique des milieux continus rédigés à l'occasion du jubilé de M. Riabouchinsky, le spécialiste français de la mécanique des fluides, précédés d'un article biographique de Demtchenko, sur sa vie scientifique, qui met bien en évidence les difficultés que peut rencontrer un chercheur faute de moyens matériels suffisants, problème qui se pose de façon de plus en plus impérieuse. L'ensemble des mémoires d'un grand intérêt scientifique en français, anglais, allemand et italien, présente une véritable esquisse de l'état actuel de la mécanique

des milieux continus. L'importance prise par celle-ci et si bien exprimée par le présent volume tient à l'œuvre de « grands ingénieurs » comme Riabouchinsky. Mémoires de Birkhoff, Walsh, Bouligand, Brousse et Poncin, Busemann, Darrieus, Dryden, Van den Dungen, Escande, Geiringer, de Gramont, Horlemann, Ippen, Hay, Heinz, Hagner, Hugues, Jones, Kampé de Feriet, Kline et Shapiro, Laitone, Lunde, Milne Thomson, Oudart, Plesset et Perry, Reissner, Roop, Rouse, Sauer, Schultz, Grünow, Taylor, Teofilato, Tichvinsky, Timman, Thurston, Truesdell, Truitt, Vernotte, Vladiminsky, Waronetz, Wyker.

Modern Physics for the Engineer, par Louis N. Ridenour. 1 vol. 16 × 24, 499 p. ill. McGraw-Hill, New-York et Londres, 1954. Prix : 53 sh. 6 d.

Série de conférences de niveau élevé faites par des spécialistes à l'Université de Californie en 1952-1953 ; exposés fondamentaux pour la compréhension de la physique moderne, base de la technique actuelle et surtout future. Trois parties : 1° lois physiques : relativité, mécanique, magnétisme, spectroscopie, structure atomique, transmutations, éléments transuraniens, particules élémentaires, etc. ; 2° environnement du monde physique : astrophysique, géophysique, etc., étude de l'univers, de la terre et de l'atmosphère ; 3° électronique.

Heat Conduction, par L. R. Ingersoll, A. G. Ingersoll, O. J. Zobel. 1 vol. 16 × 23, 323 p., 52 fig. University of Wisconsin Press, Madison, 1954. Prix : 5 dollars.

Ce livre, laissant de côté convection et rayonnement pour n'étudier que la conduction de la chaleur proprement dite, comporte, avec une très solide étude théorique qui fait le point de la théorie actuelle, de nombreuses applications autrefois dispersées et qui sont d'intérêt immédiat pour les spécialistes. La conduction de la chaleur régit par exemple le refroidissement des turbines, des parois des fours et des isolants thermiques, la cristallisation des métaux, les contacts électriques et les soudures, mais aussi des problèmes aussi divers que le refroidissement des laves et de la terre, compte tenu de sa radioactivité, et l'estimation de son âge, la formation des icebergs et de l'inlandsis, la réfrigération des sols et leur consolidation pour l'établissement des fondations, l'échauffement des barrages-réservoirs en béton, la théorie des geysers, les sources minérales, le stockage de la glace dans le sol, etc. Deux chapitres sont consacrés aux méthodes de mesures et aux techniques de laboratoires, en particulier aux modèles réduits et aux analogies. Il est dommage que cet ouvrage mélange les unités C.G.S. avec les unités du système anglo-saxon qui ne brillent certes pas par leur cohérence.

Magnetic variometers of the Schmidt type, par J. McG. Bruckshaw. 1 vol. 14 × 22, 115 p., 30 fig. Hilger and Watts, Londres, 1954. Prix : 22 sh.

La prospection magnétique a pour objet de déterminer les variations des éléments du champ magnétique terrestre dans la région étudiée. La méthode s'applique à la recherche des gisements de minéraux magnétiques et diamagnétiques. Le présent ouvrage est consacré au variomètre magnétique du type Schmidt construit par la firme Hilger and Watts. Il en donne la description, la théorie, le mode d'emploi, les applications et les résultats.

Nouveau manuel pratique de télévision, par G. Raymond. 1 vol. 16×25, 550 p., 500 fig. Ed. LEPS, Paris, 1954. Prix : 2 500 F.

La seconde édition de cet excellent manuel a été entièrement refondue pour tenir compte des nombreuses modifications de la technique qui ont eu lieu depuis la première édition. Essentiellement pratique, débarrassé de tout calcul autre qu'élémentaire, ce livre est essentiellement consacré à la réception, il en étudie avec beaucoup de soin les différentes parties : tube cathodique, alimentation, circuits de balayage, haute et moyenne fréquence, installation, réparation et entretien. Il fournit en même temps l'ensemble des nombreuses normes qui régissent en France les caractéristiques techniques des signaux de télévision et des émetteurs.

Télécommande par radio, par A. H. Bruinsma. 1 vol. 15 × 21, 104 p., 74 fig. Bibliothèque technique Philips. Dunod, Paris, 1954. Prix : 475 F.

La télécommande radio débute presque toujours par une étude sur modèles réduits qui intéresse aussi bien les ingénieurs et les professionnels que de nombreux amateurs. Ce très simple ouvrage vient heureusement compléter les épais traités sur les servomécanismes qui ne sont accessibles qu'aux spécialistes du critère de Nyquist. Il décrit complètement deux schémas de téléguidage de modèle réduit : l'un à deux canaux de modulation d'amplitude, l'autre à huit canaux à modulation d'impulsion. L'ouvrage comporte tous les schémas de réalisation ainsi que de nombreuses photographies et illustre remarquablement les propriétés et la souplesse des systèmes électroniques.

Analyse des matières minérales, par A. Meurice et Ch. Meurice. 1 vol. 16×25, 994 p., 111 fig. Dunod, Paris, 1954. Prix, relié : 6 850 F.

Dans cette quatrième édition remise à jour, il est tenu compte des exigences de plus en plus grandes de l'industrie au point de vue de l'exactitude et de la rapidité dans les analyses. Cet ouvrage comprend l'étude analytique, non seulement des minerais et des roches, mais également celle des combustibles minéraux solides, des eaux, des métaux, des alliages et dans certains cas, des produits fabriqués à l'aide des minerais. Il décrit les procédés classiques et développe les procédés modernes. Une très large part a été faite aux méthodes photocolorimétriques. On y trouvera des méthodes rapides et des méthodes arbitrales. Une étude importante est faite des méthodes standardisées. Des tables en rendent la consultation très facile. Cet ouvrage rendra de précieux services dans tous les laboratoires d'analyse et de contrôle.

Images de la fonderie idéale. 1 vol. 21 × 27, 64 p., ill. O.E.C.E., Paris, 1954. Prix : 425 F.

Plaquette composée à la suite d'une mission auprès du Congrès international de la Fonderie à Atlantic City et après des visites de fonderies aux États-Unis. Le texte, en français et en anglais, constitue une synthèse visuelle des éléments dont les fondeurs pourraient s'inspirer pour améliorer leur technique et leurs installations. Les illustrations ont été fournies par les usines visitées.

Industrial Stoichiometry, par W. K. Lewis, A. H. Radasu et H. Clay Lewis. 1 vol. 16 × 24, 429 p., ill. McGraw-Hill, New-York et Londres, Paris, 1954. Prix : 56 sh. 6 d.

Cet ouvrage étudie les problèmes de stœchiométrie en chimie industrielle minérale. Les calculs sont basés sur les lois de la conservation de la matière et de la conservation de l'énergie, sur les formules des réactions chimiques, sur leurs conditions d'équilibre et l'action des variations sur les rendements. Après les généralités, les auteurs traitent de la combustion et des combustibles, des dérivés du soufre, les composés de l'azote, la chaux et les ciments, la céramique, les alcalis. L'ouvrage s'adresse aux étudiants, mais aussi aux chimistes industriels. Il sera bienvenu au moment où l'on parle beaucoup d'une nouvelle fonction dont le besoin se fait sentir : celle d'ingénieur du génie chimique, le « Chemical engineer » des Américains.

Valorisation des combustibles solides par la gazéification. 1 vol. 15,5 × 24, 108 p., 15 fig. O.E.C.E., Paris, 1954. Prix : 420 F.

Il serait intéressant de mettre au point des procédés qui permettraient d'utiliser des charbons jusqu'ici inexploités parce trop pauvres et d'en tirer gaz, essence et produits chimiques d'une façon nettement plus économique que par cokéfaction préalable. Mais les diverses méthodes de gazéification directe n'en sont encore qu'au stade de la recherche, et une coopération européenne était souhaitable en la matière. Il fallait d'abord dresser l'inventaire des procédés en cours d'élaboration dans les pays d'Europe. Tel est l'objet du présent rapport.

Transformation des métaux non-ferreux lourds. 1 vol. 15,5 × 24, 268 p., 54 fig. O.E.C.E., Paris, 1954. Prix : 800 F.

Une mission d'assistance technique s'est rendue aux États-Unis en 1951 afin d'étudier les techniques américaines de transformation des métaux non-ferreux lourds. La mission n'a pas relevé de différences profondes entre les méthodes et le matériel utilisés en Europe ou aux États-Unis, mais dans ce dernier pays l'équipement auxiliaire est beaucoup plus varié, ce qui permet une meilleure utilisation des machines et une productivité plus élevée.

Mises au point de chimie analytique et d'analyse bromatologique, par J.-A. Gautier. 1 vol. 17 × 26, 108 p., ill., 3 pl. Masson, Paris, 1954. Prix : 900 F.

Seconde série de conférences de cette nouvelle collection annuelle publiée sous la direction du professeur de la Faculté de Pharmacie de Paris. Son but est de résumer chaque année les faits intéressants en chimie analytique, spécialement les applications aux composés organiques et biologiques, ainsi qu'au contrôle des substances comestibles du point de vue de l'hygiène alimentaire. Des spécialistes français et étrangers rendent compte des progrès réalisés et complètent les ouvrages classiques. Sujets traités : conditions de la colorimétrie en chimie analytique ; difficultés relatives à l'estimation de quelques vitamines dans les produits alimentaires ; contrôle des conserves alimentaires ; ammoniums quaternaires comme conservateurs alimentaires ; critique de leur emploi et détection ; méthodes d'appréciation de la valeur des laits conservés ; méthodes chromatographiques au service de la chimie des aliments.

Initiation à la synthèse organique, par J. Lenoir. 1 vol. 13,5 × 21, 292 p. Presses Documentaires, Paris, 1953. Prix : 1 800 F.

Cours élémentaire de synthèse organique professé au Centre technique d'enseignement ouvrier, conçu pour être abordé sans aucune connaissance de chimie organique. Quelques notions fondamentales suffisent. Il complète la collection dont deux volumes ont déjà parus : *Les opérations de la synthèse organique* et *Les produits de la synthèse organique*. Trois parties : généralités ; matières premières ; principes de la synthèse. Ces cours sont parfaitement adaptés à leur but : former, pour les ateliers et les laboratoires de l'industrie chimique en pleine expansion, des techniciens instruits et expérimentés.

Introduction to the chemistry of enzymes, par Keith J. Laidler. 1 vol. 16 × 24, 208 p., rel. McGraw-Hill, New-York et Londres, 1954. Prix : 36 sh.

La connaissance du processus biologique de la catalyse enzymatique a fait des progrès considérables. On trouve dans ce volume une excellente monographie d'une action qui joue un rôle de tout premier ordre dans les phénomènes de la vie organique. Il en donne un aspect général, aussi bien du point de vue biologique que du point de vue physique et chimique. Il tient compte des progrès les plus récents et on trouve en appendice un tableau des enzymes qui résume leurs caractéristiques et leurs propriétés. Rédaction fort claire, notamment en ce qui concerne la présentation des formules structurales des réactions chimiques.

Physique et Biologie. Réunions d'études et de mises au point sous la présidence de Louis de Broglie. 1 vol. 16 × 24, 164 p., ill. Revue d'Optique, Paris, 1954. Prix : 1 200 F.

Exposés rédigés par des spécialistes sur certains problèmes complexes ou mal élucidés : autoreproduction, base de l'hérédité ; applications de la mécanique broglienne à la biologie ; processus d'autosynthèse ; échanges d'ions lors de l'activité de la fibre nerveuse ; bases physiques de l'excitation sensorielle ; interprétation physique du champ biologique ; propriétés des systèmes de neurones ; radio-éléments comme traceurs en biologie ; mécanisme des enzymes ; facteurs de la biosynthèse des enzymes.

Ptéridophytes, par M[me] Tardieu-Blot. 1 vol. 13 × 21, 107 p., 43 fig., 26 planches originales. SEDES, Paris, 1954. Prix : 700 F.

Après les *Muscinées* de M[me] Jovet-Ast et témoignant des mêmes qualités, voici, dans la collection *Cryptogamia*, les Fougères, Lycopodes et Prêles. De courts chapitres clairement illustrés exposent le cycle vital et la fécondation, la cellule, l'habitat et la répartition, le rôle et les usages, avec des conseils pour la récolte et l'étude. Les principales familles sont ensuite décrites, puis une quarantaine d'espèces françaises parmi les plus courantes (soit environ la moitié de notre flore) avec de remarquables dessins. Un guide très précieux pour aborder l'étude des Cryptogames vasculaires.

Vie et mœurs des Anthropoïdes, par le docteur Maurice Mathis. 1 vol. 14 × 22, 199 p., 20 fig., 8 pl. hors texte. Payot, Paris, 1954. Prix : 800 F.

Les grands singes ont suscité d'innombrables écrits, mais il est bien difficile d'évaluer ce qu'ils contiennent de faits sérieusement observés. C'est un bilan de nos connaissances que dresse le chef de laboratoire de l'Institut Pasteur de Tunis, qui a participé lui-même à des expéditions et a eu l'occasion de faire de nombreuses observations. Si des mesures plus efficaces ne sont pas prises, à bref délai, on verra la disparition définitive de l'Orang-outang, puis du Gorille et du Chimpanzé. Or, on ne saurait s'exagérer l'intérêt des Anthropoïdes pour divers chapitres de la science, et leur étude deviendra bien plus utile encore quand les progrès scientifiques permettront d'aborder de nouveaux problèmes. Souhaitons que les idées exprimées avec tant de force et de logique par le docteur Mathis seront prises en considération avant qu'il soit trop tard.

Reconnaissance géologique de la Guyane française méridionale, par E. Aubert de la Rüe. 1 vol. 21 × 27, 128 p., 22 pl., 5 cartes. Larose, Paris, 1953. Prix : 2 500 F.

On ne disposait, jusqu'à présent, que de rares données éparses, sur les formations géologiques du Sud de la Guyane Française. À la suite d'une première reconnaissance d'ensemble, représentant près de 4 000 km d'itinéraires, E. Aubert de la Rüe est en mesure de présenter une carte provisoire au 1/500 000 de ce territoire de quelque 30 000 km² et de donner un aperçu de son sous-sol et une description générale de sa géologie. En dehors de gîtes aurifères, on ne possédait aucune donnée précise quant à l'existence d'autres substances minérales utiles. Certains indices intéressant plus spécialement le cuivre, le molybdène et le platine, ont pu être relevés au long de cette reconnaissance. Une introduction géographique décrit les principaux caractères physiques de cette région encore peu connue et les populations primitives, noires et indiennes, qui l'habitent d'une façon clairsemée.

Maharaja Sawai Jai Singh II of Jaipur and his observatories, par M. F. Soonawala. 1 vol. 19 × 24, 44 p., ill. Jaipur Astronomical Society, Jaipur, Indian Union. Prix : 2 roupies.

Intéressant ouvrage abondamment illustré qui expose l'œuvre scientifique du Maharajah de Jaipour, Sawai Jai Singh II qui régna de 1699 à 1743. En dépit de guerres et de troubles politiques, le Maharaja, qui s'intéressait surtout à l'astronomie, après avoir étudié les travaux et les instruments d'observation et de mesure des savants arabes et européens, les développa en réalisant d'énormes instruments (astrolabes, cadrans solaires, etc.), qu'il installa dans cinq observatoires qui subsistent encore aujourd'hui.

Ciné-mémo Prisma, chaque numéro, in-12, 48 p. Prisma, Paris, 1953. Prix du numéro broché : 219 F.

N° 5 : Les truquages classiques, par P. Langlade. N° 6 : Les particularités du huit millimètres, par Rémi. N° 7 : La perspective, par P. Faveau. N° 8 : La lumière artificielle, par P. Faveau. Petits guides sérieux et pratiques pour le cinéaste amateur.

Photo-guide Prisma, chaque numéro, in-12, 44 p. Prisma, Paris. Prix du numéro broché : 173 F.

N° 43 : Photographiez en couleurs. N° 44 : Les intérieurs en couleurs. N° 45 : Les extérieurs en couleurs. N° 46 : Les portraits en couleurs. N° 47 : Lampes flash et couleurs. N° 48 : Les enfants en couleurs. N° 49 : Vacances en couleurs. N° 50 : Photos de nus en couleurs. Cette nouvelle série entièrement consacrée à la photographie en couleurs fournit d'utiles conseils techniques aux amateurs. Mais pour le reste, que de longueurs !

PETITES ANNONCES

(165 F la ligne, taxes comprises. Supplément de 100 F pour domiciliation aux bureaux de la revue).

Le gérant : F. Dunod. — dunod, éditeur, paris. — dépôt légal : 1er trimestre 1955, n° 2736. — Imprimé en France.
barnéoud frères et Cie, imprimeurs (310566), laval, n° 3083. — 2-1955.

A NOS LECTEURS

Un événement dans la reproduction d'œuvres de grands maîtres

Un courrier de plus en plus important prouve que nos lecteurs prennent connaissance avec intérêt des nombreuses listes publiées dans nos colonnes.

Nous rappelons aux amateurs que, sur simple demande, nous expédions sans aucun engagement le CATALOGUE 54, *le* « Musée chez Soi » *donnant la liste complète de nos reproductions sur papier des Établissements Braun.*



VAN GOGH — L'Homme à la Pipe.

Nous sommes particulièrement heureux de pouvoir offrir à nos lecteurs des reproductions présentées sous un aspect entièrement nouveau :

« Montées sur toile et sur châssis ».

Cette nouvelle technique brevetée rend, pour la première fois, *l'aspect et la matière* de la peinture.

Ce procédé permet, par une vision en surface et en profondeur, d'avoir un véritable reflet du chef-d'œuvre original.

Les qualités de la matière employée pour matérialiser le relief de la peinture assurent à la reproduction la résistance de l'original lui-même.

Enfin, ces reproductions entoilées, présentées dans de luxueux cadres de styles anciens ou modernes suivant le cas, forment un ensemble parfait, qui donnera satisfaction aux amateurs les plus exigeants.

Le nombre de ces reproductions est très limité. Nous conseillons aux lecteurs intéressés de passer leur commande par retour ; les livraisons étant toujours assurées dans l'ordre des commandes.

Envoyer le bon spécial ci-contre en soulignant les titres retenus.

BON SPÉCIAL N° 9

à remplir dès réception de « LA NATURE » et à retourner à

ARTS, LETTRES ET TECHNIQUES

1, place Paul-Painlevé, PARIS Ve - Tél. DANTON 83-84

Veuillez expédier à l'adresse suivante :

NOM (en capitales)...

Prénoms .... *Profession*................

rue .... *N°* ....

à ....

Département .... *Gare* ....

dans votre emballage spécial — FRANCO et sans aucun frais (sauf douane) les reproductions suivantes entoilées et encadrées, format 60×70 environ, y compris cadre de luxe **au prix de 12 900 frs l'une.**

1. **Bosch.** ***L'Escamoteur.***
2. **Brueghel.** ***Bouquet de Fleurs.***
3. **P. Cézanne.** ***Les Joueurs de Cartes.***
4. **E. Degas.** ***Danseuse sur la scène.***
5. **E. Manet.** ***L'Enfant aux Cerises.***
6. **C. Monet.** ***Les Coquelicots.***
7. **C. Pissarro.** ***Entrée de Village.***
8. **A. Renoir.** ***Moulin de la Galette.***
9. **A. Sisley.** ***Canal du Loing.***
10. **Van Gogh.** ***L'Homme à la Pipe.***
11. **Van Gogh.** ***Les Tournesols.***
12. **Van der Weyden.** ***Annonciation.***

Je vous remets ci-inclus un chèque — mandat-poste — virement postal (1) de frs........................ ou bien — je vous réglerai au comptant, à réception, contre remboursement — par chèque bancaire — par versement à votre C.C.P. Paris 9776-34 (1).

A.................... le.............. 1955.

Signature :

(1) Rayer les mentions inutiles.

Le gérant : F. DUNOD. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 1er TRIMESTRE 1955, No 2736. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS (310566), LAVAL, No 3083. — 2-1955.